



# **INSTALAÇÃO DE COLETORES DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA EM EDIFICAÇÕES EXISTENTES: ESTUDO COMPARATIVO NO BRASIL E EM PORTUGAL**

**MARCELO ANTOUN BELLACOSA**

dezembro de 2016

**DIMENSIONAMENTO DE COLETORES DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA EM  
EDIFICAÇÕES EXISTENTES: ESTUDO COMPARATIVO NO BRASIL E EM  
PORTUGAL**

MARCELO ANTOUN BELLACOSA

**Novembro de 2016**



# **DIMENSIONAMENTO DE COLETORES DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA EM EDIFICAÇÕES EXISTENTES: ESTUDO COMPARATIVO NO BRASIL E EM PORTUGAL**

MARCELO ANTOUN BELLACOSA

Dissertação submetida ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para satisfação  
parcial dos requisitos do grau de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES**

Orientador: PROFESSOR MESTRE JOSÉ MANUEL SOUSA

Co-Orientador: PROFESSORA DOUTORA IVANILDA MATILE (Escola de engenharia da Universidade  
Presbiteriana Mackenzie – São Paulo - Brasil)

**Novembro de 2016**



## ÍNDICE GERAL

Resumo.....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice De Texto.....	xi
Índice De Figuras .....	xv
Índice De Tabelas.....	xvii
Abreviaturas/Siglas.....	xix
1    Introdução.....	1
2    Fundamentação Teórica.....	5
3    Descrição Dos Casos Em Estudo.....	35
4    Resultado/Discussão .....	47
5    Considerações Finais .....	48
Referências Bibliográficas .....	51
Apêndice A .....	55
Apêndice B.....	57



## RESUMO

Apresenta-se o aproveitamento energético da utilização de coletores solares para aquecimento de água para banho em duas habitações unifamiliares na cidade de Santana de Parnaíba, Brasil e na cidade do Porto, Portugal. Para a análise em questão deve-se verificar a potência de irradiação solar nas duas cidades, considerando os hábitos da população, cultura, condições geográficas e meteorológicas.

Foram dimensionados e projetados 2 sistemas equivalentes para residências com 4 moradores e em seguida calculado seu custo através do Guia de Parametrização de São Paulo. Pode-se verificar a viabilidade das instalações de um sistema de aquecimento solar térmico nas duas edificações foi satisfatória e o retorno do investimento se dará por volta de 30 meses. O outro sistema tornou-se inviável para esse porte de edificação.

**Palavras-chave:** Aquecimento solar. Energia Solar. Sustentabilidade.





## **ABSTRACT**

It presents the energy use of the use of solar collectors for heating water for bath in two single-family homes in the city of Santana de Parnaíba, Brazil and in the city of Porto, Portugal. For the analysis in question must check on the power of solar radiation in the two cities, considering the habits of the population, culture, geographical conditions and weather.

Designed 2 equivalent systems for homes with 4 residents and then calculated its cost through Guia de Parametrização de São Paulo. You can see that the viability of the facilities, a heating system of solar thermal panels in the two buildings was satisfactory, and the return on investment was around 30 months. The other one has become unviable for this type of building.

**Keywords:** Solar Heating. Solar Energy. Sustainability.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me capacitar de alcançar meus objetivos, me proporcionar conquistas e aprendizados durante toda minha caminhada, nunca me permitindo perder a fé.

Ao Prof. Mestre. José Manuel Sousa por ter sido meu orientador que, com muita experiência, me aceitou com todas as minhas restrições.

À Profa. Dra. Ivanilda Matile, por ter sido orientadora que, com muita paciência, constante incentivo, me aceitou com todas as minhas restrições.

Aos meus pais, pelo incentivo e confiança transmitido.

Ao meu grande amigo e profissional formado na UPM turma de 1988 Engº Antônio Carlos do Vale Rodrigues por me fornecer ajuda e informações sobre o mercado atual.

Aos meus amigos, pelo apoio e compreensão.



# ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento .....	1
1.2	Objetivos.....	1
1.3	Pesquisas Correlatas .....	2
1.4	Estrutura Do Trabalho.....	4
2	Fundamentação Teórica.....	5
2.1	Aquecimento Solar Térmico .....	5
2.2	Vantagens Do Aquecimento Solar .....	6
2.3	Benefícios Dos Sistemas De Aquecimento Solar .....	7
2.4	Coletores Solares .....	7
2.4.1	Tipos De Coletores Solares .....	7
2.5	Posicionamento Dos Coletores Solares .....	14
2.6	Reservatório Térmico.....	15
2.6.1	Tipos De Reservatórios Térmicos .....	15
2.7	Outros Componentes Dos Sistemas De Aquecimento Solar .....	17
2.7.1	Tubulações.....	17
2.7.2	Bombas .....	17
2.7.3	Central De Comando .....	17
2.7.4	Sensores De Temperatura .....	18
2.7.5	Equipamentos De Apoio .....	18
2.7.6	Válvulas.....	18
2.7.7	Circulação Da Água .....	19

2.8	Comparação Dos Tipos De Aquecimento.....	21
2.9	Instalação De Sistemas De Aquecimento Solar.....	23
2.10	Dimensionamento Pelo Guia De Parametrização .....	28
2.11	<i>Chiller</i> .....	32
2.12	Legislação Aplicada.....	33
2.12.1	No Brasil.....	33
2.12.2	Em Portugal.....	33
3	Descrição Dos Casos Em Estudo.....	35
3.1	Incidência Solar .....	35
3.1.1	Incidência Solar Em São Paulo, Brasil .....	35
3.1.2	Incidência Solar No Porto, Portugal.....	36
3.2	Caracterização Da Instalação Nas Residências .....	37
3.2.1	Santana De Parnaíba, Brasil.....	37
3.2.2	Porto, Portugal.....	39
3.3	Dimensionamento (Temp. A 70°C) + <i>Chiller</i> .....	41
3.3.1	Método Usual (70°C).....	41
3.3.2	Coletor .....	41
3.3.3	Posicionamento .....	41
3.3.4	Boiler.....	42
3.3.5	<i>Chiller</i> .....	42
3.3.6	Custo Do Investimento Em Santana De Parnaíba.....	43
3.3.7	Custo Do Investimento No Porto.....	43
3.4	Dimensionamento (Temp. A 40°C).....	44
3.4.1	Novo Método Estudado (40°C) .....	44
3.4.2	Coletor .....	44
3.4.3	Posicionamento .....	44
3.4.4	Boiler.....	45

3.4.5	Custodo Investimento Em Santana De Parnaíba .....	45
3.4.6	Custo Do Investimento No Porto.....	45
4	Resultado/Discussão .....	47
5	Considerações Finais .....	48
5.1	Conclusões .....	48
5.2	Desenvolvimentos Futuros .....	48
	Referências Bibliográficas .....	51
	Apêndice A .....	55
	Apêndice B.....	57





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1—Aplicações da energia solar (IBEAS, 2013) .....	6
Figura 2.2—Coletor solar plano simples (DASOL, 2014).....	8
Figura 2.3—Coletor Plano Simples (Casa Conforto, 2015) .....	9
Figura 2.4—Coletor Solar Sem Cobertura (GREEN - Grupo de Estudos em Energia 2016) .....	9
Figura 2.5—Coletores CPC (Cerveira 2012) .....	10
Figura 2.6—Coletor Solar a Vácuo (Paradigma, 2016) .....	11
Figura 2.7—Coletor solar de baixo custo (Santos, 2015).....	12
Figura 2.8—Alturas diferentes do Sol e otimização dos coletores por estação (Krause, 2005).....	14
Figura 2.9— Tipos de Boilers. ....	15
Figura 2.10—Reservatório (ASBC Siqueira, 2009) .....	17
Figura 2.11—Circulação Natural (Castro, <i>et al</i> 2012) .....	20
Figura 2.12—Circulação Forçada (Solar Térmico, 2015).....	20
Figura 2.13—Sistema com um depósito e 2 comutadores(Castro; Perez e Duarte, 2012) .....	23
Figura 2.14—Sistema com um depósito com comutador e ligação em série à energia de apoio(Castro <i>et al</i> , 2012) .....	24
Figura 2.15—Sistema com 2 depósitos de acumulação com ligação em série(Castro <i>et al</i> , 2012) .....	24
Figura 2.16—Sistema Centralizado e seus componentes (Castro <i>et al</i> , 2012) .....	26
Figura 2.17—Sistema monobloco e seus componentes (Castro <i>et al</i> , 2012).....	27
Figura 2.18—Equipamento <i>Chiller</i> (Carrier, 2016) .....	32
Figura 3.1—Média Anual de Radiação Solar no Brasil (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006) .....	35
Figura 3.2—Temperatura Média Anual de São Paulo(Climate, 2016).....	36
Figura 3.3—Média Anual de Radiação Solar em Portugal(Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006) .....	36

Figura 3.4– Gráfico da Temperatura Média Anual de Porto (Climate, 2016) .....	37
Figura 3.5–Localização da residência em Santana de Parnaíba (Satélite Google Maps, 2016) .....	38
Figura 3.6–Telhado da Residência unifamiliar estudada em Santana de Parnaíba .....	38
Figura 3.7–Boiler elétrico 250 litros .....	39
Figura 3.8–Ligação entre caixas d'água .....	39
Figura 3.9–Localização da residência no Porto (Satélite Google Maps, 2016).....	40
Figura 3.10–Telhado da Residência unifamiliar estudada no Porto.....	40
Figura 3.11–Representação do posicionamento do coletor para o Brasil (Adaptado de Kisol, 2016).....	42
Figura 3.12–Coletor solar com suporte para inclinação (Água Quente Solar, 2004) .....	42

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tabela comparativa da capacidade dos coletores (Adaptado de Castro; Peres e Duarte, 2012) .....	13
Tabela 2.2 – Características do Boiler Vertical de nível (Astrosol, 2016) .....	16
Tabela 2.3 – Características do Boiler Horizontal (Astrosol, 2016) .....	16
Tabela 2.4 – Comparação dos tipos de aquecimento no Brasil (Casa Abril, 2015) .....	22
Tabela 2.5 – Consumo de água diário por habitantes (Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016) .....	28
Tabela 2.6 – Habitantes por unidade (Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo (2016) .....	29
Tabela 2.7 – Fator de ocupação(Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016) .....	29
Tabela 2.8 – Fator de orientação (Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016) .....	30
Tabela 2.9 – Consumo por habitante (Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016) .....	30
Tabela 2.10 – Produção média de energia necessária(Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016) .....	31
Tabela 2.11 – Área de captação(Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016) .....	31
Tabela 3.1–Componentes existentes na edificação do Brasil (Do autor, 2016) .....	38
Tabela 3.2–Componentes existentes na edificação de Portugal .....	40
Tabela 3.3–Equipamentos para um sistema a 70 °C.....	41
Tabela 3.4 – Cálculo do custo à temperatura de 70°C + <i>Chiller</i> em Santana de Parnaíba.....	43
Tabela 3.5 – Cálculo do custo à temp. 70°C + <i>Chiller</i> no Porto .....	43
Tabela 3.6–Equipamentos para um sistema a 40 °C.....	44
Tabela 3.7 –Cálculo do custo à temp. 40°C em Santana de Parnaíba .....	45
Tabela 3.8 – Cálculo do custo à temp. 40°C no Porto .....	46
Tabela 4.1 – Cálculo do número de placas para temperatura a 70°C .....	55

Tabela 4.2	Cálculo do número de placas para temperatura a 40°C.....	57
------------	--	----

**ABREVIATURAS/SIGLAS**

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AQS	Água Quente Solar
ABRASIP	Associação Brasileira de Engenharia de Sistemas Prediais
ABRINSTAL	Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência de Instalações
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ACVE	Análise do Ciclo de Vida Energético
AAA	Apoio ao Aquecimento Ambiente
AAP	Aquecimento de Água para Piscinas
ASBC	Aquecedor Solar de Baixo Custo
BTUs	Unidade Térmica Britânica
CPVC	Policloreto de Vinila Clorado
CPC	Parabólicos Concentrados Compostos
DASOL	Departamento Nacional de Aquecimento Solar
HIS	Habitações Multifamiliares de Interesse Social
IBEAS	Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais
TR	Toneladas de Refrigeração



# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 ENQUADRAMENTO**

O sistema de aquecimento solar é a utilização da energia transmitida pelo sol para o aquecimento da água para banho, usos domésticos, piscinas e processos industriais. O aquecimento se dá através de coletores solares que em conjunto com um reservatório térmico e tubulações próprias para água quente, têm a função de aquecer e distribuir a água para a edificação.

Como mais uma forma alternativa de geração de energia, os aquecedores solares já ganharam espaço no mercado da construção civil. Ainda que seu custo ainda não seja propriamente acessível para grande parte da população, já existem leis que incentivam a instalação dos mesmos. Segundo o Portal Metálica (2016), um site referência em conteúdo técnico, de informação e geração de negócios nas áreas de Construção Civil Industrializada, Engenharia e Arquitetura no Brasil, em 2009 o país teve um crescimento na arrecadação da indústria de energia solar. O faturamento global chegou a 38 bilhões de dólares naquele ano.

Uma breve avaliação da economia que o sistema de aquecedor fornece depende dos hábitos, cultura, condições geográficas e meteorológicas além do custo de um sistema auxiliar caso seja necessário. Consequentemente os mesmos fatores serão determinantes para avaliar o retorno do investimento.

## **1.2 OBJETIVOS**

Analisar comparativamente o aproveitamento energético de sistemas de aquecimento solar em edificações existentes no Brasil e em Portugal.

Para cumprir com o objetivo geral, foi necessário:

- a) Fazer o levantamento das temperaturas diárias nas cidades do Porto e em Santana de Parnaíba e os valores anuais de potência de irradiação solar em duas cidades;
- b) Pesquisar o comportamento do consumidor quanto ao consumo de água quente;
- c) Pesquisar os tipos de sistemas de aquecimento solar comerciais utilizados no Brasil e em Portugal, dimensionar 2 sistemas equivalentes para residências com 4 moradores e projetar a instalação, com o cálculo de custos;



## *CAPÍTULO 1*

- d) Verificar a redução do custo de energia elétrica e gás para o consumo de água quente e o retorno do investimento para analisar a viabilidade das instalações de um sistema de aquecimento solar térmico nas duas edificações.

A metodologia utilizada para a coleta dos dados de insolação e hábitos de consumo foi a busca em sites comerciais e institucionais da internet. Com os dados coletados, foram feitos dimensionamentos de dois sistemas solares térmicos para uma edificação existente no Brasil e outra em Portugal utilizando a metodologia indicada no Guia de Parametrização do estado de São Paulo.

### **1.3 PESQUISAS CORRELATAS**

Devido à dificuldade econômica que a população mundial sofre diariamente, o risco de degradação ao meio ambiente através de destruição e poluição e a fim de incentivar a sustentabilidade na área da construção civil, este trabalho almeja trazer uma contribuição à utilização da energia solar e incentivar a pesquisa nesta área.

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com vistas à sustentabilidade da construção civil. Dentre eles destacam-se os referentes à utilização de recursos naturais como energia renovável por meio do sol e do vento. Também as fontes de energias são limitadas, ou parcialmente renováveis, como a água e o solo, e ainda as não renováveis, chamadas assim por existirem em quantidade limitada, como o petróleo e minérios em geral. Para Cerveira (2012) o sol é a solução para as crises que atingem os países dependentes de combustíveis fósseis, fazendo com que a utilização da energia solar seja incentivada pelos governos, apresentando-se como a grande aposta de independência energética do futuro.

Em relação à energia solar renovável, considerada inesgotável, destacam-se estudos que buscam a sua utilização para meios térmicos, geralmente para o aquecimento de água, por meio de coletores ou tubos que captam o calor do sol para posteriormente transferi-lo. Puterman (2013) analisa os recursos envolvidos em todas as etapas do ciclo de vida dos empreendimentos (tecnologia, implantação, estrutura financeira e operativa, utilização de recursos hídricos e alocação de resíduos, além de aspectos da produção de alimentos e aquecimento global) para que se realize uma comparação entre a eficiência de conversão da irradiação solar através da análise do ciclo de vida energético (ACVE) e de sua expressão em empreendimentos implantados buscando identificar e favorecer uma tecnologia de conversão de irradiação solar para que a capacidade sustentável de energia no Brasil aumente.

Sendo assim, a energia solar torna-se a fonte de energia de maior viabilidade para uso, pois, além de ser não poluente e altamente potente, sua quantidade de energia disponível para conversão é infinita e gratuita. Em consequência disto, os estudos do aproveitamento da energia solar para aquecimento de água sanitária (AQS), apoio ao aquecimento ambiente (AAA) e aquecimento de água para piscinas (AAP)

se tornaram de total importância. Cerveira (2012) exemplifica países como Portugal, onde a opção solar é demais evidente, sendo que toda a população e em particular os mais jovens são estimulados a participar, porém os estudos vão muito mais além desta teoria.

Sowmy (2013) diz que existe uma incerteza associada à medição do desempenho térmico de coletores solares térmicos utilizados em aquecedores de água residenciais. Essa incerteza gera uma consequência tempo de retorno sobre o investimento do sistema, para isso, existem diversos ensaios feitos dos materiais individualmente e de um sistema como um todo que devem levar em consideração as contribuições dos métodos e instrumentos utilizados, do tempo do local onde foi realizado os testes e do desempenho térmico do coletor. Ao final do estudo, Sowmy (2013) determinou que os resultados obtidos são aceitos pelo programa de etiquetagem brasileiro de coletores. Para edifícios de habitações multifamiliares, Santos (2012) analisa e compara diversos tipos de sistemas solares e apresenta suas vantagens e desvantagens. Foram estimados os desempenhos energéticos e os custos de investimentos, e concluiu-se que o sistema com acumulação individual, embora facilite a gestão ao condomínio, apresente maiores custos anuais equivalentes que o sistema com acumulação coletiva.

Queiró (2012) avalia estudos de desempenho de um sistema solar térmico de baixo custo utilizado para o aquecimento de uma casa. Sistemas utilizam o ar como fluido de trabalho em vez da água, permitindo a sua injeção direta dentro de casa sem recorrer a instalações de piso radiante, depósitos ou bombas de água, resultando numa abordagem diferente do estado da arte de sistemas de aquecimento baseados em energias renováveis não-fósseis. Durante seus estudos foram tomadas decisões sobre a localização e orientação do coletor de forma a otimizar a recolha de energia nas alturas mais frias do ano e limitar a recola durante o verão.

Lara (2013) também estudou sistemas com movimentação e mudança do posicionamento de painéis solares durante o aquecimento de água. O resultado não foi satisfatório, pois o painel não se movimentou devidamente e dessa forma foi necessária uma movimentação manual para que obtivesse eficiência no aumento da temperatura. Ajustes de posicionamento são necessários para o sistema funcionar nas 4 estações do ano. Sendo assim, a criação de um painel com movimentação automática exige um custo muito mais alto e acaba tornando-se inviável de acordo com a crise mundial.

Moraes Santos (2015) visa contribuir para a redução de custos dentro dessa carência de utilização de energia solar e teve como objetivo avaliar as residências populares do Brasil. O resultado desta pesquisa mostrou aceitação generalizada da população à possibilidade de instalações e utilizações de sistemas de aquecimento solar de água, especialmente nas áreas rurais, principalmente por apresentar custo reduzido de energia elétrica e por apontar para a redução da demanda na rede elétrica. A pesquisa

## *CAPÍTULO 1*

comprova que com a utilização de energia solar, os municípios podem economizar uma quantidade energética e, conseqüentemente, econômica.

Os estudos apresentados refletem as inúmeras possibilidades para o alcance da sustentabilidade no setor renovável. Uma análise mais detalhada de produtos e materiais de baixo custo e um diagnóstico setorial permitirão indicar ações cabíveis no segmento da utilização solar para meios de aquecimento térmico que permitam o atendimento das demandas sociais atuais e futuras do Brasil.

### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho está estruturado em cinco seções.

Na seção 1 está apresentada a Introdução, que é composta pelos seguintes itens: texto de conceituação e caracterização do tema; objetivos; justificativa, metodologia e a estrutura da monografia.

A seção 2 apresenta uma breve revisão da literatura, com foco nas pesquisas feitas em Portugal e nos sistemas de baixo custo no Brasil, visto que este tema já está bastante explorado em nosso país. Conseqüentemente serão abordados os sistemas de aquecimento solares térmicos, as vantagens de sua utilização, seus componentes, a comparação entre os sistemas e o método de dimensionamento.

Na seção 3 será dimensionado duas opções de sistemas de aquecimento solar térmico para uma habitação unifamiliar.

Na seção 4 será apresentado os resultados dos dimensionamentos.

Na seção 5 será apresentada a conclusão sobre a utilização de aquecedores solares térmicos. Serão fornecidas sugestões para pesquisar futuras para que haja cada vez um melhor aproveitamento nesta área sustentável.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 AQUECIMENTO SOLAR TÉRMICO**

O potencial energético do Sol é capaz de suprir toda a necessidade do mundo várias vezes. Existem diversas formas de aproveitamento da energia do Sol, sendo elas indiretamente ou diretamente utilizadas. As energias da biomassa, eólica, crescimento dos seres vivos e fotossíntese são exemplos que se aplicam à energia solar aproveitada indiretamente. As formas diretas de aproveitamento são utilizadas na produção de calor e são definidas como passivas ou ativas.

A principal forma do aproveitamento solar passivo é definido como arquitetura bioclimática. Consiste na adoção de soluções arquitetônicas e urbanísticas utilizando a energia que pode ser diretamente encontrada no local de construção das edificações. Estas características referem-se aos recursos naturais disponíveis que serão harmonizados ao conforto do homem em suas edificações, sendo o sol a principal referência. Dentre os diversos exemplos de arquitetura bioclimática pode-se citar a utilização de determinados materiais de construção para ganhos térmicos, construções voltadas para o Sol para ganhos iluminações e temperatura em zonas frias ou protegidas do mesmo e sob ação do vento em zonas quentes.

As formas de aproveitamento ativas são a energia solar fotovoltaica e a energia solar térmica. A primeira, é definida pela ANEEL (2002) como fótons contidos na luz solar que se convertem em energia elétrica, por meio do uso de células solares, sendo assim, os efeitos da radiação sobre semicondutores convertem a energia solar em energia elétrica. Já o sistema de absorção solar térmico é feito através de concentradores ou coletores solares para o aquecimento de água que serão usadas posteriormente. O Figura 2.1 mostra um resumo das principais formas de aproveitamento da energia solar e em cinza o caminho predominante para alcançar o objetivo dessa dissertação.

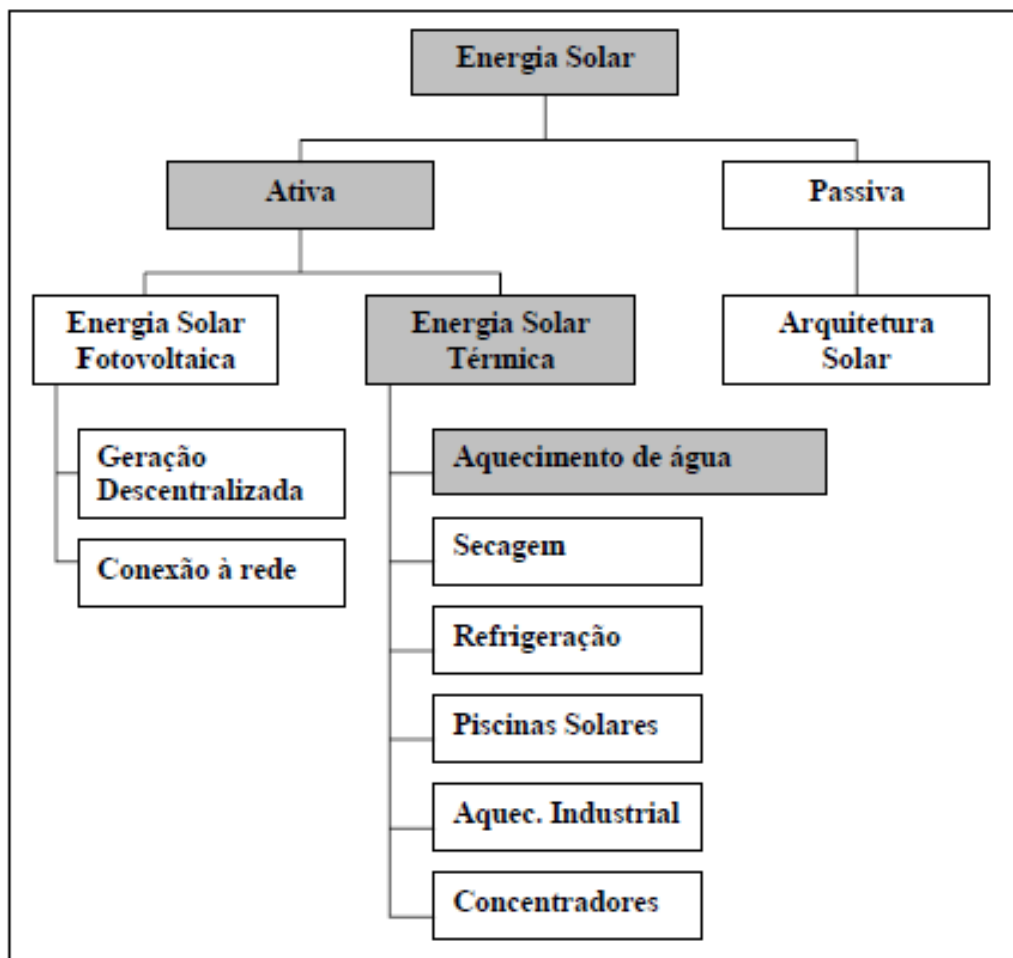


Figura 2.1–Aplicações da energia solar (IBEAS, 2013)

A energia solar térmica é frequentemente utilizada no aquecimento de água doméstica, piscinas, aplicações industriais entre outras. O equipamento utilizado absorve a radiação solar através de um coletor que transfere o calor para o fluído que está circulando no interior da tubulação aquecendo o líquido que está a caminho de um reservatório isolado termicamente.

Caso não haja sol suficiente para o aquecimento necessário, os aquecedores solares possuem uma resistência elétrica ou um aquecedor a gás para que a temperatura ideal seja atingida.

## 2.2 VANTAGENS DO AQUECIMENTO SOLAR

De acordo com os diversos problemas energéticos ocorrentes nas cidades diariamente, a utilização de aquecimento solar vem sendo muito incentivada pela sociedade por ser uma solução ao longo prazo, dentre elas:

- a) A fonte de energia solar é gratuita, não poluente e de produção infinita;
- b) Contribui na preservação do meio ambiente devido aos impactos ambientais causados por construções de obras;

- c) Economiza energia elétrica e consequentemente a conta da habitação;
- d) Cria empregos locais diretos e indiretos;
- e) Os sistemas de aquecimento têm uma manutenção mínima e longa vida útil;
- f) Os painéis solares têm um custo-benefício cada vez melhores com o passar dos anos;

## 2.3 BENEFÍCIOS DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

Segundo um levantamento feito pela DASOL (2014) em relação a preservação do meio ambiente, cada 1 m<sup>2</sup> de coletor instalado permite os seguintes benefícios para o meio ambiente:

- a) Evitar a inundação de 56 m<sup>2</sup> para geração de energia elétrica;
- b) Economizar 66 litros de diesel por ano;
- c) Economizar 55 kg de gás de cozinha por ano;
- d) Evitar o uso de usinas termo elétricas e de energia nuclear;
- e) Economizar 73 litros de gasolina por ano;
- f) Eliminar a queima de 220 kg de lenha por ano;
- g) Proporcionar a economia com gasto de energia elétrica.

De acordo com o mesmo levantamento, a existe também uma economia financeira nas contas de luz de até 70% dependendo do sistema instalado e, consequentemente, um retorno rápido do investimento. Além disso, a instalação de sistemas de aquecedor solar valoriza o imóvel.

## 2.4 COLETORES SOLARES

Os sistemas de aquecimento solar de água são compostos por um coletor, uma tubulação de alimentação e distribuição de água próprias para água quente e um reservatório com isolamento térmico e suas funções são coletar os raios solares, aquecer e transferir a água quente e armazená-la para posteriormente ser utilizada, respectivamente.

Os coletores solares são os principais componentes do sistema de aquecimento solar térmico. Sua função é captar a luz solar, converter em calor e transferir a energia obtida para a água. Devem possuir uma superfície (geralmente preta) de absorção que capte a energia suficiente para o sistema ser eficaz e com bom isolamento térmico, para que, o índice de perdas seja o menor possível.

### 2.4.1 Tipos De Coletores Solares

Pode-se citar alguns tipos de coletores solares:

### 2.4.1.1 Coletores Planos Simples Vitrificados

É um coletor plano muito utilizado para climatização ambiental e AQS por ter ganhos que reduzem as fontes energéticas convencionais, como afirma Cerveira (2012).

Os elementos deste coletor é uma placa absorvedora, uma caixa externa, uma cobertura e um isolamento. Podem ser utilizados até cinco coletores agrupados para aquecer em maiores quantidades e suas dimensões podem ser especificadas, porém os mais utilizados são de 2000x1000x100mm (Figura 2.2).

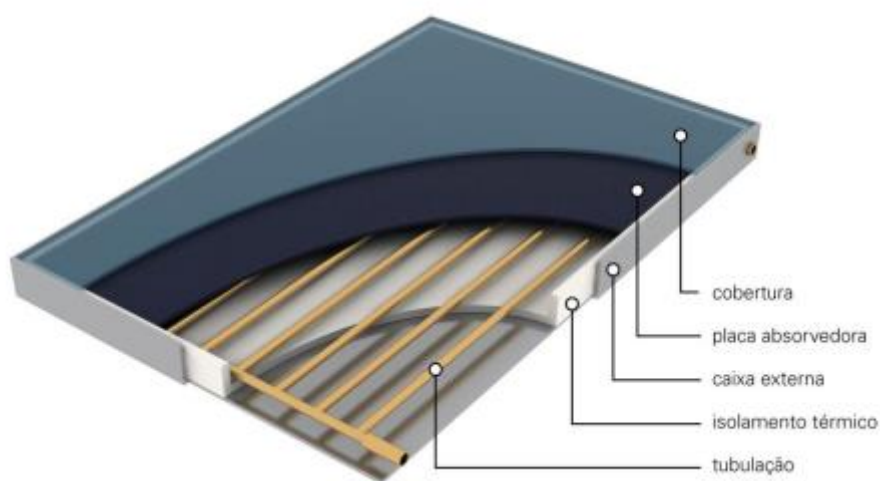


Figura 2.2—Coletor solar plano simples (DASOL, 2014)

A placa absorvedora é o elemento que recebe a radiação solar e transforma a mesma em calor para transferir ao fluido. Pode ser fabricada de duas maneiras sendo a primeira um elemento de cobre pintado de uma coloração escura de alto nível de absorção e baixo nível de emissividade. A outra forma é chamada de seletivo, cuja superfície apresenta um revestimento com tratamento especial que tem índices de perdas menores. O fluido a ser aquecido entra por meio de uma serpentina ou grade de cobre na parte inferior da placa e sai quente na parte superior.

Ao redor desta placa absorvedora existe revestimento por película refletora e após este, um isolamento que pode ser em cortiça, lã de rocha lã de vidro ou poliuretano expandido de alta densidade, com o maior nível de condutibilidade térmica evitando assim maiores perdas de calor.

A caixa externa envolve toda a tubulação na parte inferior e lateral e é geralmente fabricada de alumínio ou aço inoxidável, porém existem coletores que a caixa é totalmente fabricada em fibra de vidro.

A cobertura tem função de proteger a placa absorvedora sendo fabricada em vidro temperado com elevado coeficiente de transmissão para que a quantidade de radiação solar não seja bloqueada.



Figura 2.3—Coletor Plano Simples (Casa Conforto, 2015)

#### 2.4.1.2 Coletores Planos Sem Vidro De Cobertura

Os coletores planos sem vidro de cobertura são normalmente instalados para aquecimento de piscinas e outras aplicações que não precisam de uma temperatura muito elevada. Esses coletores não possuem o vidro de cobertura, sendo assim a captação dos raios solares é feita diretamente pelo absorvedor. Apresenta custos reduzidos, facilidade de instalação e manutenção em relação aos outros tipos de coletores solares.



Figura 2.4—Coletor Solar Sem Cobertura (GREEN - Grupo de Estudos em Energia 2016)

#### 2.4.1.3 Coletores Parabólicos Concentradores Compostos – CPC

Os coletores CPC são utilizados geralmente para aquecimento de águas sanitárias ou aquecimento térmico ambiental. São do tipo tubular diferentemente dos coletores planos e os tubos onde o fluido



## CAPÍTULO 2

circula são envolvidos por espelhos refletores de forma concêntrica que tem função de garantir um elevado rendimento. São protegidos por um revestimento metálico (Figura 2.5).



Figura 2.5—Coletores CPC (Cerveira 2012)

### 2.4.1.4 Coletores De Tubos a Vácuo

Os coletores de tubos a vácuo são constituídos por vários conjuntos de dois tubos de vidro com interior de cobre, um interno ao outro, unidos em suas extremidades. Entre as paredes dos dois tubos fica a vácuo que é o melhor isolante térmico existente (Figura 2.6).

O conjunto de todos os tubos é ligado a um coletor feito de cobre que fica na parte superior completando o sistema.

Segundo Cerveira (2012, p.18) “os coletores solares de tubos de vácuo apresentam-se agrupados de modo a formar conjuntos com 12, 16, ou 20 tubos, cujas superfícies específicas de absorção se encontram próximas de  $2 \text{ m}^2$ ,  $2,5 \text{ m}^2$  e  $3 \text{ m}^2$ , respectivamente”.



Figura 2.6—Coletor Solar a Vácuo (Paradigma, 2016)

#### 2.4.1.5 Coletores Asbc6

Os coletores de baixo custo são constituídos de vários conjuntos de tubos de PVC revestidos de garrafas PET, ambos os materiais recicláveis. São utilizadas garrafas PET de 2 litros translúcidas e tubos de PVC pintados de preto fosco para aumentar a absorção solar. De acordo com Santos (2015) as garrafas PET tem a função de absorver os raios solares e o ar contido dentro das mesmas absorve a parte de radiação infravermelha armazenando a energia térmica que aquece os tubos de PVC que passam por dentro delas e consequentemente a água que circula no interior dos tubos.

A Figura 2.7 mostra um sistema constituído de 216 garrafas PET, 80 metros de cano PVC de 12mm em barras de 2 metros, 72 conexões Ts PVC, 7 conexões Curvas de 12mm, 2 torneiras metálicas, um registro e um boiler. O sistema foi instalado no Centro de Energias da Faculdade de Engenharia da UNESP Guaratinguetá calculado para atender uma residência de 4 pessoas.



a) Sistema feito de materiais recicláveis



b) Detalhe do sistema feito de materiais recicláveis

Figura 2.7—Coletor solar de baixo custo (Santos, 2015)

Na Tabela 2.1 pode-se fazer uma comparação dos diversos tipos de coletores descritos.

Tabela 2.1 – Tabela comparativa da capacidade dos coletores (Adaptado de Castro; Peres e Duarte, 2012)

TIPO DO COLETOR	MONTAGEM	DIMENSÕES	PESO	EFICIÊNCIA MÉDIA	PREÇO
Coletores Planos Simples Vitrificado	Mão de obra Simples	1,0 m <sup>2</sup> a 4,0 m <sup>2</sup>	10 a 20 kg/m <sup>2</sup>	40% a 60% e 50 a 100kWh/mês/m <sup>2</sup>	Acessível De 170 a 300 €/m <sup>2</sup> R\$ 300/m <sup>2</sup>
Coletores Planos Sem Vidro de Cobertura	Mão de obra Simples	1,0 m <sup>2</sup> a 4,0 m <sup>2</sup>	10 a 20 kg/m <sup>2</sup>	40% a 60% e 50 a 100kWh/mês/m <sup>2</sup>	Acessível De 170 a 300 €/m <sup>2</sup> R\$ 300/m <sup>2</sup>
CPC	Mão de obra Simples	1,0 m <sup>2</sup> a 4,0 m <sup>2</sup>	10 a 20 kg/m <sup>2</sup>	Aproximadamente 70%	Acessível 250€/m <sup>2</sup> R\$ 500/m <sup>2</sup>
Coletores de tubos à vácuo	Mão de obra Simples	1,0 m <sup>2</sup> a 4,0 m <sup>2</sup>	10 a 20 kg/m <sup>2</sup>	80% e 100 a 200kWh/mês/m <sup>2</sup>	Muito caro 750€/m <sup>2</sup> R\$ 1.000/m <sup>2</sup>
ASBC	Mão de obra Trabalhosa	Adaptável	10 kg/m <sup>2</sup>	40% a 60% e 50 a 100kWh/mês/m <sup>2</sup>	Muito barato

## 2.5 POSICIONAMENTO DOS COLETORES SOLARES

O posicionamento dos coletores solares depende de alguns fatores ligados à localização da habitação, da existência de sombreamento, da função dos coletores solares. Em relação à localização da habitação as inclinações e orientações são diferentes para as cidades de São Paulo, Brasil e Porto, Portugal.

As inclinações dependem da latitude do local que é definida por Mendonça (2009) por ser a localização angular em relação ao equador podendo variar de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$ , sendo o norte positivo e o sul negativo sendo que quanto mais próximo do equador, mais energia incidente disponível e menor a área necessária do coletor. A inclinação ideal é a latitude do local da instalação +  $15^\circ$  considerando o aquecimento de água para o inverno como afirma Krause (2005). O grupo EcoVolts (2016), um site de sustentabilidade de Portugal, afirma que para a obtenção da inclinação ideal para a época do Verão, deve-se utilizar a latitude do local da instalação -  $15^\circ$  e uma instalação feita para o ano inteiro deve-se utilizar a latitude do local da instalação -  $5^\circ$ . A Figura 2.8 mostra a diferença das inclinações para as diferentes aplicações.

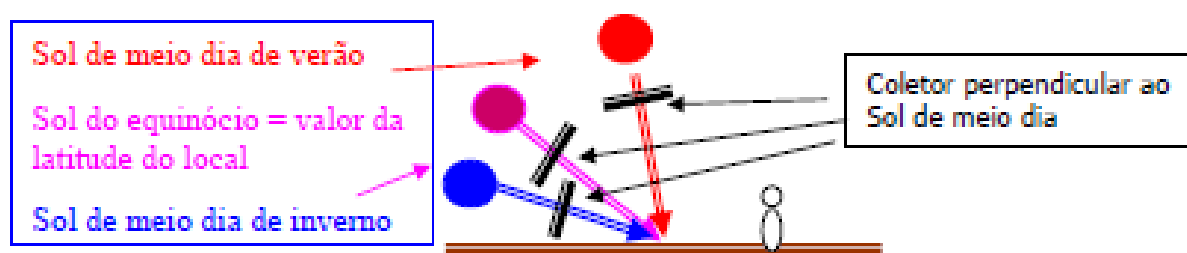


Figura 2.8—Alturas diferentes do Sol e otimização dos coletores por estação (Krause, 2005)

A trajetória virtual do Sol de Leste a Oeste permite que o calor orientado a Norte receba potencialmente Sol durante o dia todo, reduzindo assim a área necessária de coletor, sendo assim, a orientação ideal deve estar voltada ao norte sendo que valores até  $15^\circ$  NE e  $15^\circ$  NO não afetam significativamente a eficiência do sistema segundo Krause (2005). Para edificações em Portugal, país localizado no hemisfério Norte, deve-se orientar os coletores para o Sul.

Em relação ao sombreamento, os coletores devem ser instalados em um local afastados de árvores ou edificações que possam obstruir a passagem da radiação solar e até mesmo em posições em que a sombra do próprio coletor não comprometa o funcionamento de outro.

A latitude da cidade de São Paulo é de aproximadamente  $23,5^\circ$ , portanto sua inclinação pode variar de  $33^\circ$  a  $38^\circ$  considerando o inverno. Na região do Porto a latitude é de aproximadamente  $41^\circ$  e a inclinação do coletor solar deverá ser entre  $51^\circ$  e  $56^\circ$  considerando o inverno.

## 2.6 RESERVATÓRIO TÉRMICO

O reservatório térmico, também chamado de boiler ou caldeira, são os elementos cuja função é de armazenar a água quente que será consumida cuja temperatura foi elevada pelo sistema de coletores.

### 2.6.1 Tipos De Reservatórios Térmicos

#### 2.6.1.1 Reservatório Convencional

Os reservatórios convencionais podem ser feitos de aço inoxidável, cobre ou aço carbono com duas superfícies cilíndricas para que entre elas exista um isolante térmico de baixa condutividade térmica como lã de vidro ou espuma de poliuretano para diminuir as perdas térmicas para o ambiente.

Estes reservatórios mais usuais possuem geralmente uma capacidade de armazenamento entre 100 e 5.000 litros, porém existem reservatórios de até 15.000 litros. Podem ser verticais ou horizontais (Figura 2.9), de baixa pressão ou de alta pressão, de nível ou de desnível, sendo cada uma das características escolhidas de acordo com a necessidade da habitação.

Os reservatórios de baixa pressão são indicados para instalações nos projetos em que a caixa de água fria estejam logo acima do boiler, sendo que o seu nível de água deverá estar no máximo com 4 mca, porém, não podem ser pressurizados ou alimentados com água para rede pública. Enquanto os de alta pressão são recomendados para sistemas pressurizados e instalações onde a caixa de água fria está muito elevada (máx. 40 mca).



a) Boiler Vertical de nível (Astrosol, 2016)



b) Boiler Horizontal (Astrosol, 2016)

Figura 2.9— Tipos de Boilers.

## CAPÍTULO 2

Na Tabela 2.2 e na Tabela 2.3 estão listadas as características os diferentes tipos de reservatório do fabricante Astrosol.

Tabela 2.2 – Características do Boiler Vertical de nível (Astrosol, 2016)

Tambor interno em cobre ou aço inoxidável					Bitolas Hidráulicas		
Capacidade	Diâmetro	Altura	Volts	Watts	Entrada	Saída	Solar
AVN 200	800	610	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 300	870	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 400	970	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 500	1080	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 600	1080	910	220	3000	3/4"	1"	3"

Tabela 2.3 – Características do Boiler Horizontal (Astrosol, 2016)

Volumes (Medidas em mm)									
Litros	100	200	300	400	500	600	700	800	1000
Comprimento	1000	1200	1200	1600	1900	2300	2700	3000	3600
Altura	500	500	700	700	700	700	700	700	700
Watts	3000W/ 220 V/ monofásico							5000W/220V/ monofásico	
Bitola Hidráulica	1"							1.1/2"	

### 2.6.1.2 Reservatório Asbc

O reservatório de baixo custo criado por Siqueira (2009) é feito de polietileno e seu isolamento térmico é de isopor (EPS) por ter baixa condutividade térmica e baixo custo. Pelo isopor não ser resistente às ações externas optou-se em cobrir o reservatório com uma lamina de papel Kraft, que também atua como isolante térmico (Figura 2.10).

Foram feitas entradas e saídas de água controladas por uma bóia e por um pescador responsáveis pela entrada de água fria e saída de água quente para o consumo respectivamente.



Figura 2.10—Reservatório (ASBC Siqueira, 2009)

## 2.7 OUTROS COMPONENTES DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

Os outros componentes em geral tem a função de encaminhar a água aquecida pelos coletores até o reservatório. Fazem parte do sistema as tubulações, fluídos de transferência térmica, bombas, comutadores e outros equipamentos.

### 2.7.1 Tubulações

As tubulações têm função de encaminhar o fluido a ser aquecido aos coletores e posteriormente ao reservatório. São fabricadas de aço inox, aço galvanizado ou materiais plásticos, porém o cobre é o mais utilizado. Essas tubulações devem ser isoladas termicamente para que não haja desperdício algum de calor.

### 2.7.2 Bombas

As bombas elétricas são necessárias em alguns casos para fazer a circulação forçada da água dentro das tubulações. Na maioria dos casos, o fluido é transportado por circulação natural, processo que ocorre quando o reservatório de água fria está em um nível superior ao boiler e aos coletores onde a água quente consegue circular pois tem menor densidade.

### 2.7.3 Central De Comando

A central de comando tem a função de configurar as temperaturas dos sensores, desligar o sistema quando se atinge a temperatura máxima, acionar o sistema de aquecimento elétrico caso necessário e monitorar a temperatura da água. Tudo deve ser configurado de acordo com a necessidade da habitação.



#### **2.7.4 Sensores De Temperatura**

Existem dois sensores que são instalados para uma otimização do sistema. O primeiro é um sensor cuja função é liberar a água para circular na tubulação quando as placas estão em condições de aquece-la, assim sendo ativado quando existir radiação solar. É utilizado para que a água fria não misture com a água já aquecida no reservatório. O outro sensor existente se localiza no reservatório e tem a função de ativar o aquecimento pelo sistema de apoio quando o reservatório, que apenas contem água quente, atinge o nível mínimo.

#### **2.7.5 Equipamentos De Apoio**

Algumas vezes os sistemas de aquecimento solar não são suficientes, em casos de dias chuvosos e nublados, sendo assim é utilizado um sistema de apoio de modo a garantir que a água esteja na temperatura desejada para sua utilização.

Esses sistemas funcionam através de uma ou mais resistências comandadas por um termostato configurado por uma central de controle que é ativada por um sensor para o aquecimento da água seja feito instantaneamente, que apenas ocorre quando a água quente do reservatório está no nível mínimo.

#### **2.7.6 Válvulas**

##### **2.7.6.1 Válvula De Segurança**

Essa válvula é dimensionada com uma pressão inferior a qualquer pressão de qualquer elemento do sistema para que, assim que sua pressão for atingida, liberar o fluido afim de não danificar o sistema. Sua colocação é junto a entrada de água fria no sistema.

##### **2.7.6.2 Válvula De Retenção**

Tem a função de impedir que o fluido circule no sentido oposto ao do sistema. Isso pode ocorrer devido a variações de temperatura.

##### **2.7.6.3 Válvula De Três Vias**

Essa válvula existe para que seja possível escolher a direção da água, podendo funcionar manualmente ou de forma automática. Pode ser utilizada quando o circuito abastece mais de um sistema (por exemplo piscina e AQS).

#### **2.7.6.4 Válvula Misturadora Termostática**

No sistema à saída de água quente do reservatório pode ser colocada uma válvula misturadora, que faz a fusão entre a água quente do sistema e a água fria da rede no caso de a água estar muito quente para utilização.

#### **2.7.6.5 Válvula Antiretorno**

Tem função de evitar que o ciclo de água por convecção alterne seu sentido assim, a água aquecida sobe para o boiler e a água fria desce para a placa fechando o ciclo.

### **2.7.7 Circulação Da Água**

No sistema de aquecimento solar, a transmissão da água aquecida até o reservatório térmico pode ser feita de duas formas: Por circulação natural ou circulação forçada.

#### **2.7.7.1 Circulação Natural**

O sistema de circulação natural tem um fluxo por convecção. A partir do momento em que o fluido recebe o calor da placa ele torna-se mais denso, subindo para o boiler e a água que está fria desce para ser aquecida na placa fechando-se o ciclo. Para que o ciclo não se altere o sentido é instalada a válvula antiretorno ou a parte inferior do boiler deve estar aproximadamente a 30cm acima do coletor.

Esse circuito tem uma vida útil longa, porém pode ser danificado por águas ácidas e pode perder eficácia no inverno devido a baixas temperaturas.

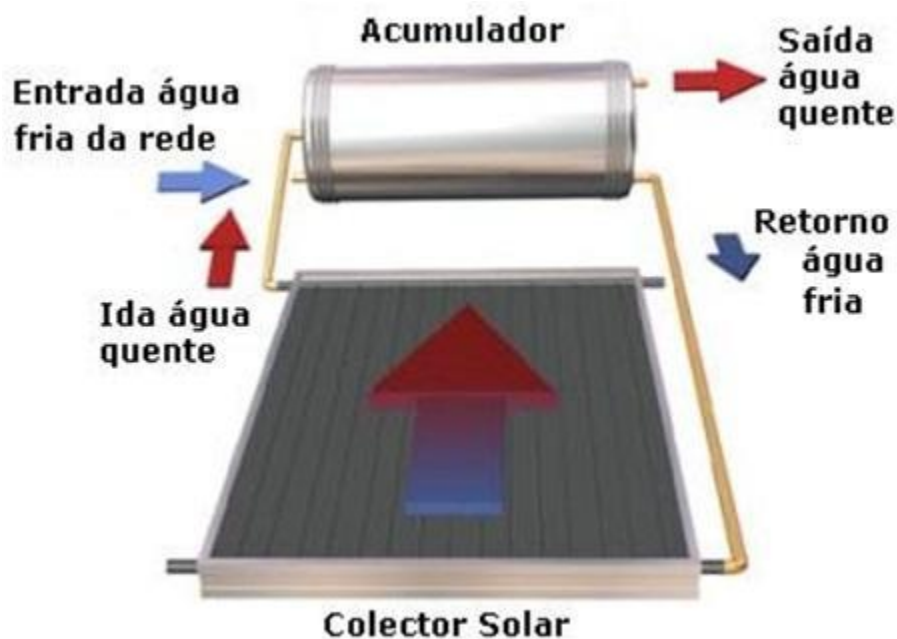


Figura 2.11–Circulação Natural (Castro, *et al* 2012)

### 2.7.7.2 Circulação Forçada

O sistema de circulação forçada é realizado de forma ativa com auxílio de uma bomba de circulação que é ativada quando existe diferencial de temperatura entre o coletor e o boiler.

A grande vantagem do sistema é ter o boiler longe de agentes físicos, aumentando sua vida útil, porém necessita de uma rede elétrica para seu funcionamento.

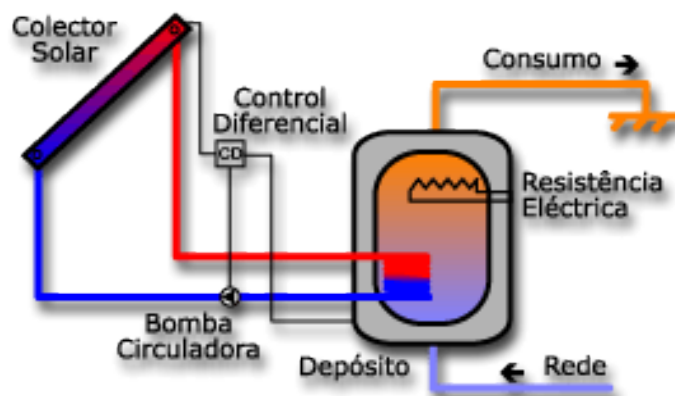


Figura 2.12–Circulação Forçada (Solar Térmico, 2015)

## **2.8 COMPARAÇÃO DOS TIPOS DE AQUECIMENTO**

Considerando o aquecimento de água para banho, pode ser feito um comparativo entre os sistemas utilizados através da eletricidade, a gás ou solares. Em uma comparação feita pela Casa Abril (2015) pode-se comparar as diferentes formas de aquecimento representadas no Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Comparação dos tipos de aquecimento no Brasil (Casa Abril, 2015)

	CHUVEIRO ELÉTRICO	AQUECEDOR A GÁS	AQUECEDOR SOLAR
Equipamento	Dois chuveiros de 7,5kW (de R\$180 a R\$500)	Um aquecedor de 20 litros/min (de R\$ 1,1mil a R\$ 2,3mil)	Um boiler de 400 litros Dois coletores de 1m <sup>2</sup> (de 2,4mil a R\$3,7mil)
Custo material e instalação Hidráulica, elétrica ou gás	R\$ 1,1mil	R\$ 1,1mil	R\$ 1,3mil
Instalação	De R\$ 1,2mil a R\$ 1,6mil	De R\$ 2,2mil a R\$ 3,4mil	De R\$ 3,7mil a R\$ 5mil
Energia elétrica	1,8mil kWh (R\$900)	-	390kWh (R\$200)
Gás	-	252 m <sup>3</sup> (R\$100)	
Água	50,4 m <sup>3</sup> (R\$260)	56,2 m <sup>3</sup> (R\$290)	56,2 m <sup>3</sup> (R\$290)
Valor do consumo anual	R\$1,1mil	R\$1,3mil	R\$470
Valor total no primeiro ano	De R\$2,3mil a R\$2,7mil	De R\$3,5mil a R\$4,7mil	De R\$4,1mil a R\$5,5mil

## 2.9 INSTALAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

Dentre as diferentes formas montar um sistema de aquecimento solar, Castro *et al* (2012) exemplificam os seguintes sistemas:

### 2.9.1.1 Sistema Com Um Depósito E 2 Comutadores

Este sistema pode ser instalado através de uma circulação forçada, porém não é aconselhável para grandes volumes visto que uma vez que o comutador interno sofra algum problema em seu funcionamento o sistema inteiro é paralisado (Figura 2.13).

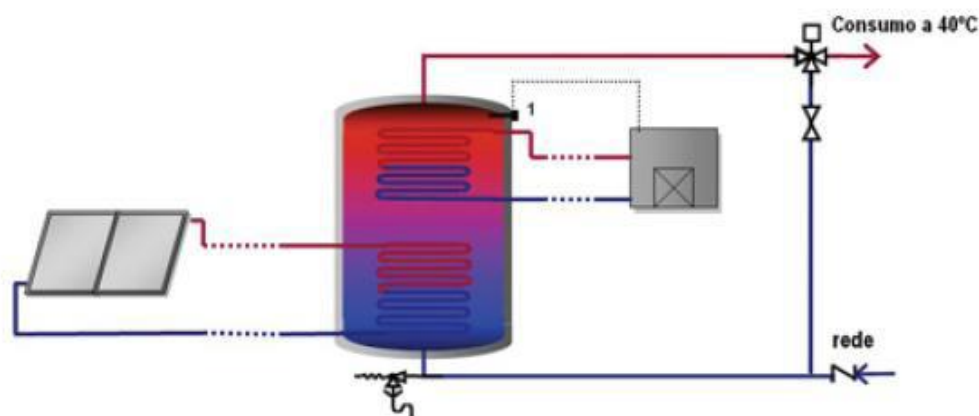


Figura 2.13—Sistema com um depósito e 2 comutadores(Castro; Perez e Duarte, 2012)

Nesse sistema a água da rede que abastece o reservatório pode ser aquecida de duas maneiras e, em seguida, é passada diretamente para o consumo.

A água é aquecida pelo comutador inferior, que é preenchido pelo fluido aquecido anteriormente no coletor, assim, a água passará diretamente para consumo. Caso o fluido não estiver suficientemente quente, será necessário o uso do sistema de apoio (no ponto 1 do um sensor de temperatura é instalado para ser acionado nesta ocasião) em que o comutador superior aquecerá a água mais rapidamente até o sistema solar atingir a temperatura desejada.

### 2.9.1.2 Sistema Com Um Depósito Com Comutador E Ligação Em Série À Energia De Apoio

O uso deste tipo de sistema implica que o equipamento de apoio esteja apto a receber água quente, pois o comutador interno já a aqueceu. O comutador interno do depósito de acumulação poderia ser substituído por um comutador externo. Deve ser instalado no sistema no ponto 1 da Figura 2.14 um sensor de temperatura de forma a comandar a válvula de 3 vias para o local para onde envia a água, já

que se a mesma tiver superior a 40°C não necessita de passar no sistema de apoio. O sensor de temperatura verifica então se há necessidade de o apoio ser ativado.

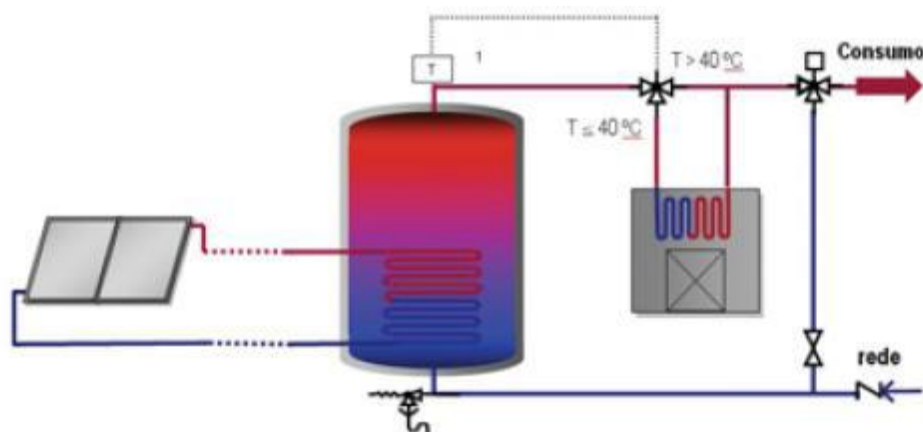


Figura 2.14—Sistema com um depósito com comutador e ligação em série à energia de apoio(Castro *et al*, 2012)

### 2.9.1.3 Sistema Com 2 Depósitos De Acumulação Com Ligação Em Série

Este sistema permite a acumulação de uma maior quantidade de água devendo o equipamento de energia de apoio só ser ativado quando a temperatura medida no ponto 1 for tal que possa pôr em risco de congelamento a água na tubulação. O sistema de apoio está ligado ao depósito de acumulação sem comutador inferior. O depósito com comutador inferior, quando tem a água de consumo suficientemente aquecida, envia a água para o segundo depósito. O sistema de apoio fica assim ligado com um segundo comutador superior no depósito de apoio para que a água do mesmo seja aquecida quando necessário. A vantagem clara deste sistema é a acumulação de uma grande quantidade de água quente para consumo, no entanto torna-se um sistema com um investimento mais elevado que os anteriores.

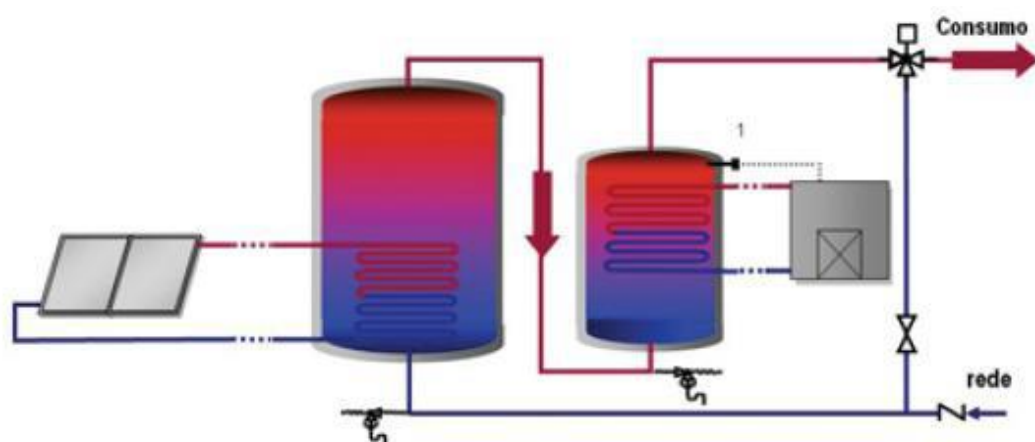


Figura 2.15—Sistema com 2 depósitos de acumulação com ligação em série(Castro *et al*, 2012)

Dependendo das características dos edifícios os sistemas poderão modificar-se podendo num edifício multifamiliar os ambientes partilharem todos os equipamentos ou funcionarem como sistemas individuais.

Um exemplo se trata de um sistema totalmente centralizado em que os apartamentos compartilham todos os equipamentos do sistema solar térmico tendo cada apartamento um comutador de água quente e fria associados para que seja possível estimar seus próprios gastos separadamente. Outro sistema compartilha apenas os coletores e o reservatório, sendo o sistema de apoio individual para cada apartamento. Em um terceiro sistema os conjuntos têm apenas em comum os coletores, sendo que o reservatório e o sistema de apoio são totalmente individuais. Por último, um sistema que é considerado monobloco em que todos os equipamentos têm ligação individual para cada apartamento.

#### **2.9.1.4 Sistema Centralizado**

O sistema centralizado, caracteriza-se pelo compartilhamento de todos os equipamentos do sistema primário de energia solar. A entrada de água na rede faz-se pelo ponto 4 dirigindo-se diretamente para o acumulador. O fluido aquecido nos coletores entra em contato com a água aquecendo-a por condução através do comutador, que poderá ser interior ou exterior. Por efeito de convecção a água sobe no acumulador e se estiver suficientemente quente, a cerca de 40°C, segue diretamente para consumo, caso contrário o controlador diferencial é ativado e a água aquecida na parte superior do tanque através do comutador superior ligado ao sistema de apoio. A água utilizada no aquecimento central (radiadores) funciona em circuito fechado, sendo que a água fria retorna à central térmica.



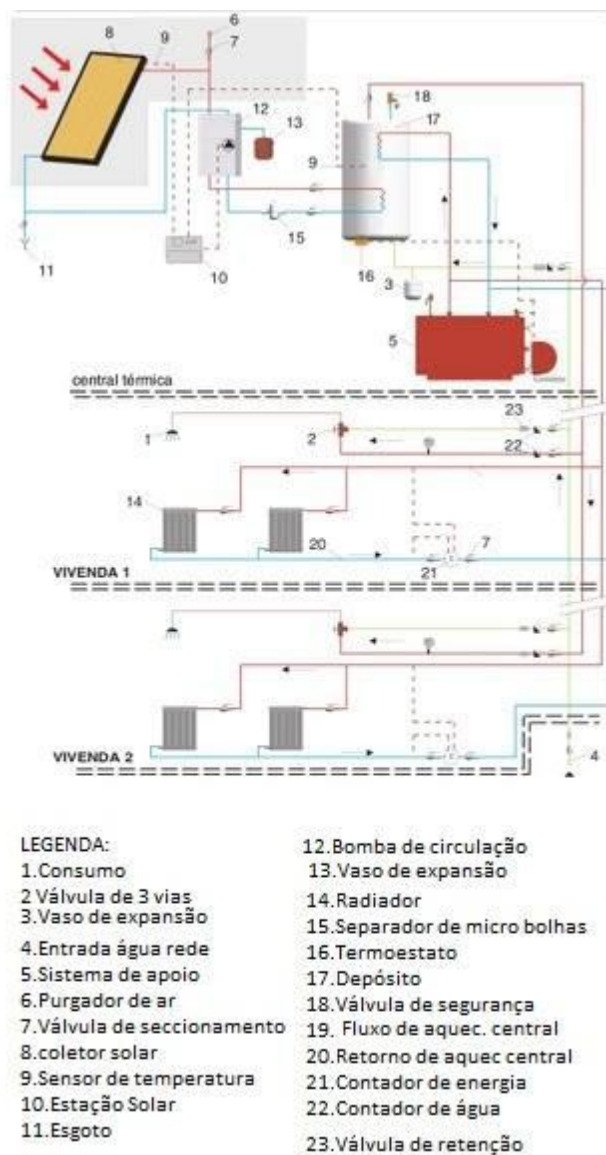


Figura 2.16—Sistema Centralizado e seus componentes (Castro *et al*, 2012)

### 2.9.1.5 Sistema Semi-Centralizado

Este sistema semi-centralizado difere do anterior apenas no fato de o sistema apoio se encontrar no interior de cada conjunto. Esta solução apresenta a desvantagem de o consumo de energia necessário para ativar o sistema de apoio de forma individualizada ser superior ao necessário para o ativar de forma coletiva.

Existe a hipótese de outro tipo de sistema semi-centralizado que contém o sistema de apoio e o reservatório no interior de cada habitação, sendo o coletor solar o único elemento comum nas habitações. É conveniente que o comutador se encontre no interior do depósito por forma a diminuir a área necessária para a instalação dos equipamentos.

### 2.9.1.6 Sistema Monobloco

O sistema monobloco supõe que a utilização dos equipamentos é feita de forma individual pois cada habitação dispõe de coletor, tanque de armazenamento e sistema de apoio. Este é o mais usual em habitações unifamiliares. Este sistema torna-se mais dispendioso e tem a grande desvantagem de desperdiçar espaço útil da habitação para instalar todos os equipamentos.

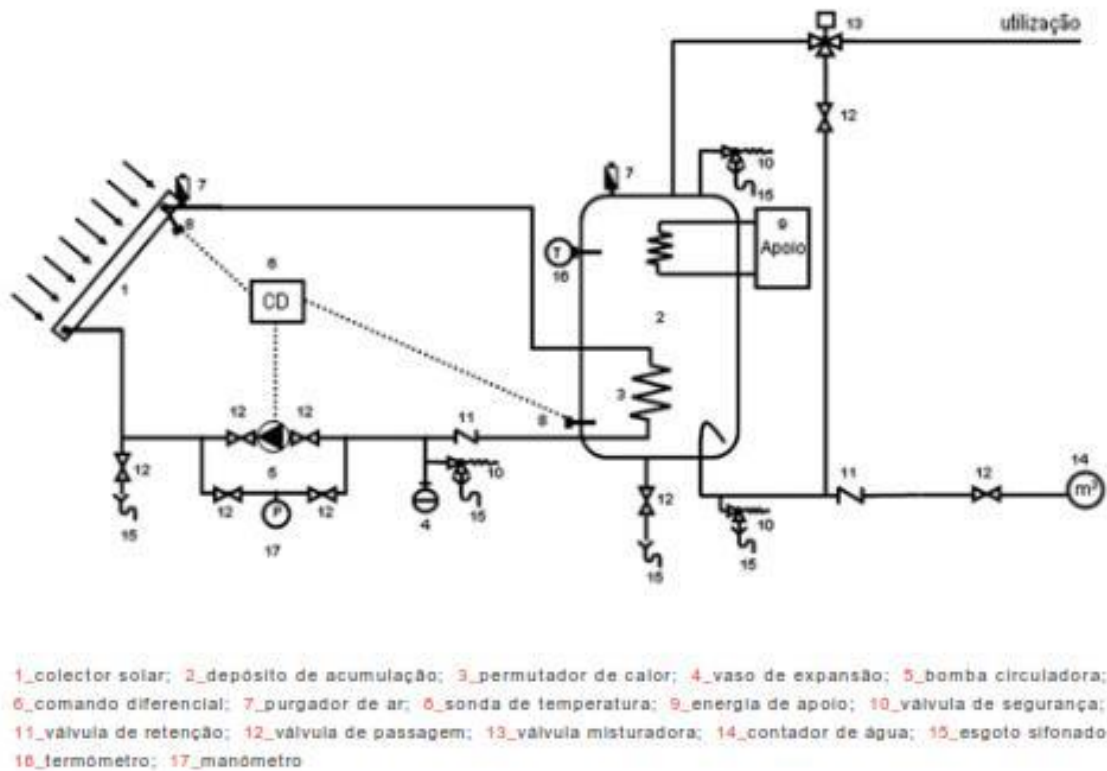


Figura 2.17—Sistema monobloco e seus componentes (Castro *et al*, 2012)

Para um edifício de habitação multifamiliar considera-se que o sistema de energia centralizado é o mais vantajoso, pois para além do rendimento anual ser mais elevado este sistema garante menos emissões poluentes devido a existência de uma só conduta de fumos provocados pelo sistema de apoio. Outro ganho significativo passa pela rentabilização do espaço da fração autónoma visto que todos os equipamentos se encontram centralizados na central térmica, por fim outra grande vantagem é o fato de a energia elétrica necessária para o funcionamento do sistema ser menor no caso de os equipamentos funcionarem de forma centralizada. No dimensionamento do sistema centralizado deve-se fazer uso a válvulas reguladoras para uniformizar os caudais, de forma a nenhuma habitação sair prejudicada, com a inexistência destas os fogos situados mais perto do solo poderiam ter acesso a um caudal mais reduzido de AQS em relação aos últimos pisos.

## 2.10 DIMENSIONAMENTO PELO GUIA DE PARAMETRIZAÇÃO

Foi lançada uma metodologia de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar para edificações residenciais multifamiliares, com exceção de habitações multifamiliares de interesse social (HIS), em função da Lei nº 14.459, de 3 de julho de 2007, que acrescenta o item 9.3.5 à Seção 9.3 - Instalações Prediais do Anexo I da Lei nº 11.228, de 25 de junho de 1992 (Código de Obras e Edificações) e dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo. O documento foi criado pela Associação Brasileira de Engenharia de Sistemas Prediais (ABRASIP), a Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência de Instalações (ABRINSTAL) e a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), chamado de Guia de Parametrização Solar de São Paulo que será tomado como referência para o cálculo de dimensionamento.

De acordo com a Lei nº 14.459, de 03 de julho de 2007, (São Paulo, 2007, p.1)

As instalações hidráulicas e os equipamentos de aquecimento de água por energia solar deverão ser dimensionados para atender, no mínimo, a 40% (quarenta por cento) de toda a demanda anual de energia necessária para o aquecimento de água sanitária e água de piscinas das novas edificações.

A ferramenta desenvolvida nos permite projetar edifícios que atendem o mínimo exigido pela norma, porém também o ideal da demanda anual de água quente que é 70%.

Primeiramente é preciso definir o consumo diário por habitantes que é obtido de acordo com o gasto de água médio pela vazão do chuveiro, tempo de banho, lavatório e cozinha. O cálculo é feito pela multiplicação da vazão em litros do chuveiro pelo tempo em minutos de banho somado ao uso em litros do lavatório e cozinha, conforme o exemplo a seguir.

Tabela 2.5 – Consumo de água diário por habitantes (Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016)

Consumo diário por habitante (litros à 40°C)	
Vazão do chuveiro (l/min)	8
Tempo do banho (min)	10
Lavatório (l/usuário)	5
Cozinha (l/usuário)	10
Consumo por usuário (litros)	95

Posteriormente será definido o número de habitantes por unidade que deve ser medido pela quantidade de quartos somada a um valor, conforme o exemplo abaixo.

Tabela 2.6 – Habitantes por unidade (Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo (2016))

Habitantes por unidade ( $n^{\circ}$ quartos + 1 $\leq$ 5)	
1 quarto por unidade	2
2 quartos por unidade	3
3 quartos por unidade	4
4 quartos por unidade	5

O consumo diário por unidade habitacional é obtido através da multiplicação do consumo de litros por usuário pelo número de habitantes por unidade.

Outro parâmetro que é necessário admitir é a quantidade de unidades habitacionais que serão atendidas pelo sistema e o fator de ocupação que é definido pela tabela abaixo.

Tabela 2.7 – Fator de ocupação (Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016)

Fator de ocupação	
Até 9 unidades habitacionais	1
De 10 a 19 unidades habitacionais	0,9
De 20 a 39 unidades habitacionais	0,8
40 ou mais unidades habitacionais	0,7

Assim, pode-se calcular o consumo total de água em litros pela multiplicação do consumo diário por unidade habitacional pela quantidade de unidades habitacionais.

A temperatura do uso da água quente, água fria e perdas térmicas para estocagem da água a 45° influenciam na energia total consumida por dia que deve calculada.

A orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico é avaliada a partir do fator de orientação.

O fator de orientação é definido de acordo com o ângulo em que o coletor está desviado do norte geográfico. Quanto maior esse ângulo, o número de coletores solares instalados na edificação pode aumentar para que seja compensada a menor quantidade de radiação solar que incide sobre os mesmos.

Este fator serve ainda como parâmetro importante para os arquitetos que devem sempre que possível projetar as edificações com o norte geográfico sobre as coberturas desobstruído (sem sombras). A

utilização de planos inclinados orientados para o Norte geográfico também se apresenta como uma solução adequada à integração arquitetônica dos coletores solares à edificação.

Tabela 2.8 – Fator de orientação (Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016)

Fator de orientação	
Desvio do norte geográfico de 0° a 30°	1
Desvio do norte geográfico de 31° a 60°	1,13
Desvio do norte geográfico de 61° a 90°	1,16

Assim que os fatores são definidos pode-se começar o preenchimento da planilha. Inicialmente define-se o número de usuários por unidade habitacional e o número de unidades habitacionais, para que assim, seja definido o consumo de água diário que é dado pela multiplicação do consumo diário por unidade pelo número de unidades e pelo fator de ocupação.

Feito o cálculo é definida a energia útil consumida pela multiplicação do consumo diário pela variação da temperatura (da temperatura máxima é subtraída a temperatura ambiente). Esse valor é dividido por 859,8 para conversão em kWh/dia. Segue exemplo na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Consumo por habitante (Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016)

Consumo por habitante	
Usuário por unidade habitacional	5
Litros por usuário	115
Consumo diário por unidade habitacional	475
Unidades habitacionais atendidas	64
Fator de ocupação	0,7
Consumo diário de água (litros)	21.280
Temperatura de uso (°C)	70
Temperatura água fria (°C)	20
Energia Útil consumida (kWh/dia)	490
Perdas térmicas (% para estocagem a 45° conf. NB 15569)	15
Energia total consumida (kWh/dia)	564

Em seguida deve-se preencher a produção média de energia a partir do fator de orientação, a correção e a fração solar conforme a lei de São Paulo.

Tabela 2.10 – Produção média de energia necessária (Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016)

Produção média de energia necessária	
Fator de orientação (conforme Dec. Regulamentação 49148)	1
Fator de correção de SP para o coletor (conf. lei SP 14.459)	1,54
Produção média diária de energia necessária (kWh/dia Nominal)	867
Produção média mensal de energia necessária (kWh/mês)	26.372
Fração Solar desejada (%)	40
Produção média de energia (kWh/mês nominal)	10.549

A última parte da tabela é onde se define o número de placas mínimo e ideal para atender ao sistema. Essa área é definida a partir do tipo de placa solar a ser utilizada e sua capacidade de produção média de energia.

Tabela 2.11 – Área de captação (Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016)

Área de captação	
Produção média de energia mensal do coletor (kWh/mês/m <sup>2</sup> ) conf. Tabela do INMETRO)	87,1
Área do coletor (m <sup>2</sup> ) conf. Tabela do INMETRO	1,95
Número mínimo de coletores (para atendimento à fração solar de 40% exigida na Lei)	63
Número ideal de coletores (para atendimento à fração solar ideal de 70%)	109
Área mínima de coletores (para atendimento a fração solar desejada) (m <sup>2</sup> )	122
Área ideal de coletores necessária (m <sup>2</sup> )	212,1
Fator de aproveitamento do espaço (no caso de coberturas)	1,6
Área mínima de cobertura plana a ser disponibilizada para a instalação (m <sup>2</sup> )	195,2
Área ideal de cobertura plana a ser disponibilizada para a instalação (m <sup>2</sup> )	339,4

Com essa parte final da tabela é tirada uma conclusão da quantidade mínima de placas necessárias para atender a demanda do sistema e um valor ideal de área de coletores solares que permite atingir frações solares próximas de 70%, valor que vem se comprovando ser o de melhor custo benefício no mercado brasileiro de acordo com o Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo (2016).

## 2.11 CHILLER

*Chiller*, antigamente chamado de Unidade de Água Gelada, é um sistema de refrigeração que consiste no resfriamento da água para arrefecer o ar, produtos ou equipamento. O funcionamento do *chiller* pode ser utilizado em conjunto com equipamentos de ar condicionado e sua função é climatizar os ambientes e controlar a temperatura e a umidade relativa, além de renovar, filtrar e movimentar o ar.

O sistema é mais utilizado para eventos, indústrias alimentícias e farmacêuticas, hospitais, aeroportos, estações de metrô, pistas de patinação no gelo e equipamentos de telecomunicações.

Sua montagem trata-se de uma parte externa que é interligada a diversas unidades interiores, que tem a função de gerar a capacidade de resfriamento da água sendo o mesmo o fluido utilizado como meio de transporte do calor ou frio para cada divisão da sua moradia.



Figura 2.18—Equipamento *Chiller* (Carrier, 2016)

O funcionamento parte através de um sistema de refrigeração, o sistema *chiller* retira calor da água, baixando sua temperatura. Para isso, recebe o refrigerante aquecido e vaporizado do trocador de calor, e o recompacta e esfria antes de enviá-lo de volta. Ao comprimir o refrigerante, em um processo que emite quantidades elevadas de calor, o sistema precisa ser resfriado por outro dispositivo, o evaporador, que retira o calor criado pela recompressão do refrigerante. Quando o ar-condicionado é ligado, um resfriador emite o ar quente que foi removido do interior da casa.

Os *chillers* têm a potência medida em toneladas de refrigeração (TR), com os mais usuais variando de 5 a 5.000TR e sendo capazes de trabalhar com uma grande variação de temperatura, podendo até ser negativa quando utilizados aditivos. Cada TR equivale à 12.000 BTUs.

Os equipamentos são muito flexíveis quanto à instalação, mas são de grande porte e necessitam de transporte especializado. Sua estrutura é feita de chapa de aço quimicamente tratada, pintura eletrostática com pó epóxi e peças internas de chapa de aço galvanizada.

Uma das grandes vantagens dos *chillers* é que, apesar de funcionar à eletricidade, o seu consumo é extremamente baixo; gerando um ótimo custo-benefício. Além disso, os aparelhos são eficientes e possuem grande durabilidade.

As empresas de refrigeração que apresentam os principais modelos de *chiller* são Carrier, Trane, Hitachi, Komeco, York e Daikin. Os preços estão frequentemente entre R\$ 3.000,00 e R\$ 400.000,00, fora a instalação, de acordo com os modelos disponíveis no mercado.

## **2.12 LEGISLAÇÃO APLICADA**

### **2.12.1 No Brasil**

Conforme determina a lei municipal da cidade de São Paulo 14.459/07, desde julho de 2008 o uso de aquecedores solares em residências com quatro ou mais banheiros é lei. Estabelecimentos que fazem uso intensivo de água quente como hotéis, clínicas entre outros, também devem seguir essa obrigatoriedade.

Em relação a novas residências de até três dormitórios, a exigência é que a infraestrutura instalada deve conter tubulação em cobre ou CPVC para que possa receber futuramente uma instalação do sistema.

### **2.12.2 Em Portugal**

Para uniformizar os processos de instalação e manutenção dos sistemas solares de aquecimento de água na Europa, criaram-se em 2006 Normas Europeias que permitem às entidades instaladoras e reguladoras assegurar a eficiência do sistema e a segurança do mesmo.

As Normas Europeias em vigor são a EN12975-1:2006, a EN 12975-2:2006, a EN 12976-1:2006 e a EN 12976-2:2006. Para as complementar é indispensável o recurso à norma ISO 9488.

A EN12975-1 2006 visa garantir a qualidade dos componentes de um sistema de energia solar, tendo em conta fatores de resistência mecânica, de segurança e confiabilidade, tendo na própria norma, informações técnicas sobre os materiais e fabricação de coletores solares.

Para garantir a segurança e eficiência do sistema solar, o coletor deve ser submetido a determinados testes obrigatórios de acordo com a legislação e em seguida terão suas classificações descritas na EN12975-2.

A EN 12976-1:2006 e a EN 12976-2:2006 diferencia os tipos de sistema que são fabricados como um todo e os que os elementos são unificados formando um sistema.





### 3 DESCRIÇÃO DOS CASOS EM ESTUDO

Neste capítulo pretende-se dimensionar duas hipóteses de sistema de aquecimento de água com os equipamentos e sistemas anteriormente referidos, verificar as condições da construção existente e comparar ambos dimensionamentos para as duas cidades.

#### 3.1 INCIDÊNCIA SOLAR

##### 3.1.1 Incidência Solar Em São Paulo, Brasil

A Figura 3.1 apresenta a média anual de radiação solar brasileira. Pode-se notar que a radiação solar média máxima está no Nordeste do país onde são atingidos um pouco mais de  $6,65 \text{ kWh/m}^2$  enquanto a região Sul do país atingi apenas  $4 \text{ kWh/m}^2$ . São Paulo tem uma média de radiação solar média de  $5,60 \text{ kWh/m}^2$ . A Figura 3.2 que apresenta a temperatura média anual da cidade de São Paulo.

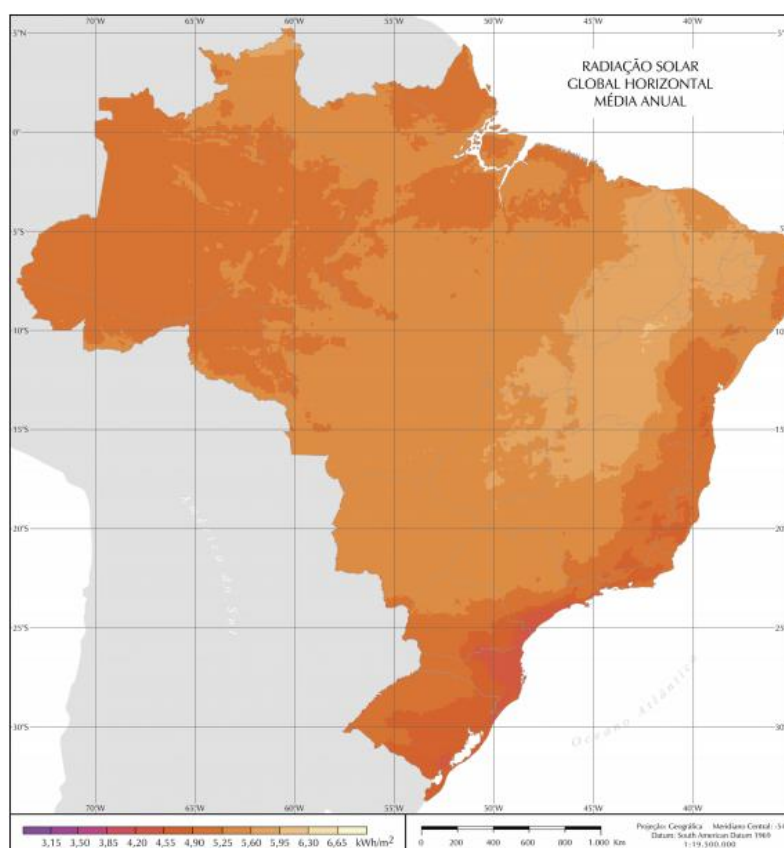


Figura 3.1—Média Anual de Radiação Solar no Brasil (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006)

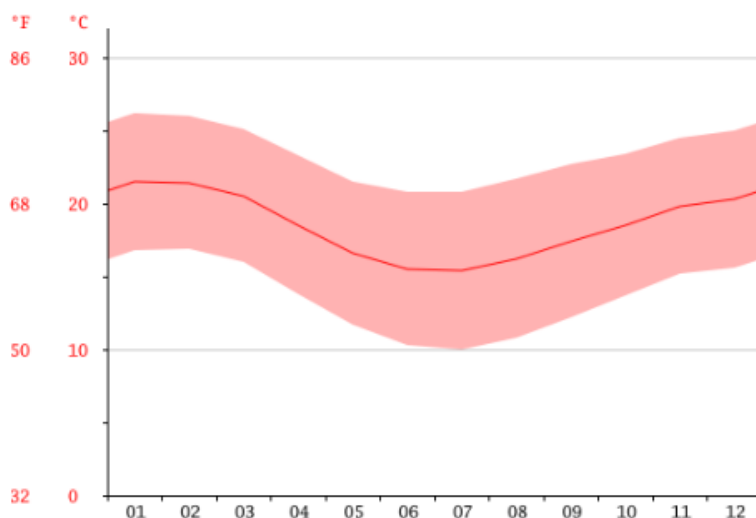


Figura 3.2—Temperatura Média Anual de São Paulo(Climate, 2016)

O mês mais quente do ano é Janeiro e tem uma temperatura média de 21.5°C. Ao longo do ano Julho tem uma temperatura média de 15.4°C. É a temperatura média mais baixa do ano.

### 3.1.2 Incidência Solar No Porto, Portugal

A Figura 3.3 apresenta a média anual de radiação solar de Portugal. Pode-se notar que a radiação solar média máxima está na região Sul do país onde são atingidos um pouco mais de 1,9kWh/m<sup>2</sup> enquanto a região Norte na divisa com a Espanha atinge apenas 1,4 kWh/m<sup>2</sup>. A cidade do Porto tem uma média de radiação solar média de 1,60 kWh/m<sup>2</sup>.

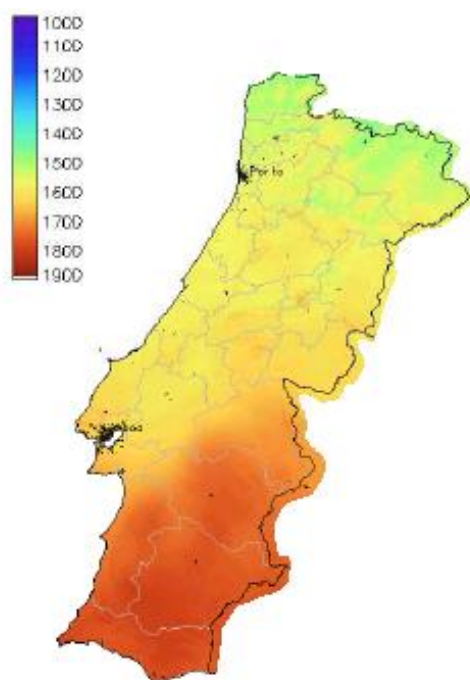


Figura 3.3—Média Anual de Radiação Solar em Portugal(Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006)

Na Figura 3.4 é apresentado o gráfico da temperatura média anual do Porto.

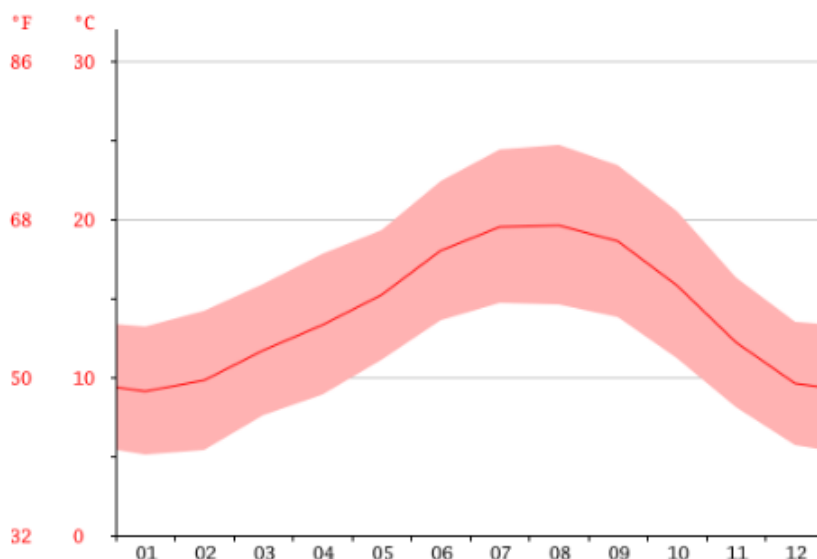


Figura 3.4– Gráfico da Temperatura Média Anual de Porto (Climate, 2016)

O mês mais quente do ano é agosto com uma temperatura média de 19.6 °C. Ao longo do ano Janeiro tem uma temperatura média de 9.1°C. Durante o ano é a temperatura média mais baixa.

Analisando o gráfico pode-se verificar que não existe uma grande variação na radiação solar, no entanto, a diferença de temperatura é alta em relação as estações do ano.

Nota-se que o Brasil, com grande potencial para aproveitamento de energia solar, possui uma importante vantagem sobre Portugal, no que diz respeito aos níveis de radiação solar.

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO NAS RESIDÊNCIAS

### 3.2.1 Santana De Parnaíba, Brasil

A residência unifamiliar escolhida está localizada no estado de São Paulo, cidade de Santana de Parnaíba, aproximadamente entre as coordenadas geográficas 23°S de Latitude e 46°O de Longitude. A Figura 3.5 mostra a orientação da residência em relação ao Norte.

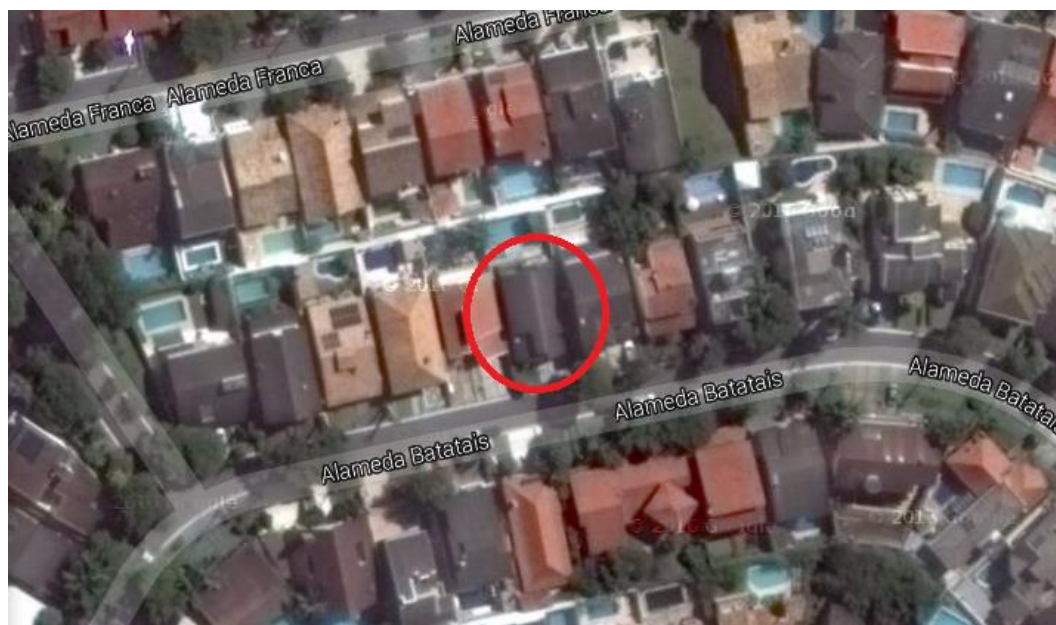


Figura 3.5—Localização da residência em Santana de Parnaíba (Satélite Google Maps, 2016)



Figura 3.6—Telhado da Residência unifamiliar estudada em Santana de Parnaíba

A instalação de aquecimento de água é feita por um aquecedor elétrico e os seus componentes são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1—Componentes existentes na edificação do Brasil (Do autor, 2016)

Componentes
4x caixas d'água interligadas de 1000 litros cada
Boiler elétrico 250 litros
Tubulação de PCV
Laje caixa d'água h=0,10m
Telhas de concreto CoppoVeneto resistência 240Kg
Utiliza-se 10,4 telhas por m <sup>2</sup>

A Figura 3.7 e a Figura 3.8 mostram a instalação do Boiler e da tubulação hidráulica entre as caixas de água, respectivamente.



Figura 3.7—Boiler elétrico 250 litros



Figura 3.8—Ligação entre caixas d'água

### 3.2.2 Porto, Portugal

A residência unifamiliar escolhida está localizada na cidade do Porto, aproximadamente entre as coordenadas geográficas 41ºN de Latitude e 8ºW de Longitude. A Figura 3.9 mostra a orientação da residência em relação ao Sul.





Figura 3.9—Localização da residência no Porto (Satélite Google Maps, 2016)



Figura 3.10—Telhado da Residência unifamiliar estudada no Porto

Considerando que a instalação de aquecimento de água existente na edificação seja um aquecimento elétrico, os seus componentes são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2—Componentes existentes na edificação de Portugal

Componentes
2x caixas d'água interligadas de 1500 litros cada
Boiler elétrico 200 litros
Tubulação de PVC
Laje caixa d'água h=0,10m
Telhas galvanizada

### 3.3 DIMENSIONAMENTO (TEMP. A 70°C) + CHILLER

#### 3.3.1 Método Usual (70°C)

Para o dimensionamento de um sistema de aquecimento solar a 70 °C utiliza-se os componentes listados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3—Equipamentos para um sistema a 70 °C

Consumo 200 litros/hab/dia
Considera-se banho 50% = 100 litros hab/dia
50 litros = água quente (70°C)
50 litros = água fria (20°C)
Habituação com 5 pessoas = 250 litros água quente
Portanto boiler de 300 litros é suficiente

#### 3.3.2 Coletor

Considerando uma edificação unifamiliar com 5 moradores foi dimensionado o número de placas para as duas residências através do Guia de Parametrização apresentado no apêndice A.

Foi escolhida a placa da Mastersol CRC 1830 com área de 1,64 m<sup>2</sup> e rendimento de 76,0kWh/mês.m<sup>2</sup> e obteve-se um mínimo de 6 placas e o ideal de 10 placas para que seja atendido o consumo calculado de 1075 litros diários. Cada placa cheia pesa cerca de 25 Kg.

#### 3.3.3 Posicionamento

O coletor deve ser colocado perpendicular à altura solar média do inverno ao meio dia, ou seja, a latitude do local + 15° sendo uma boa estimativa para o aquecimento da água com foco no período do inverno.

A latitude de Santana de Parnaíba é aproximadamente 23°, portanto o coletor deve estar posicionado aproximadamente a 38° voltado ao norte conforme representação no Desenho 10 e a latitude do Porto é aproximadamente 41°, portanto o coletor deve estar posicionado aproximadamente a 55° voltado ao sul.



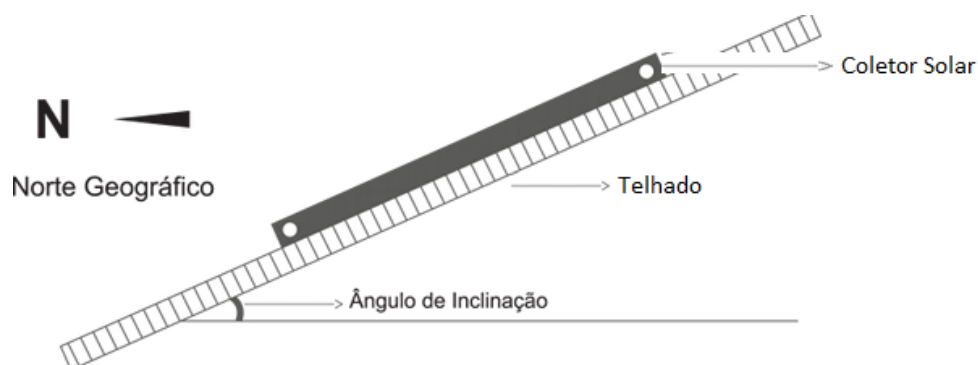


Figura 3.11—Representação do posicionamento do coletor para o Brasil (Adaptado de Kisol, 2016)

Para que seja feita a inclinação do coletor a uma angulação superior ao telhado, deve-se instalar um suporte de sustentação conforme ilustrado na Figura 3.12.



Figura 3.12—Coletor solar com suporte para inclinação (Água Quente Solar, 2004)

### 3.3.4 Boiler/Caldeira

O boiler deve ser dimensionado para atingir uma temperatura de 70°C e atender a demanda total de água de banho para a residência.

Para que seja feito o cálculo do boiler utiliza-se o consumo total diário de 575. Sendo assim, adota-se um boiler de 800 litros da Mastersol modelo Master Confort de inox com isolamento de lã de vidro de 700 mm de diâmetro por 2700 mm de comprimento.

### 3.3.5 Chiller

A instalação de 4 pontos de *Chiller* deve ser interligada ao sistema de aquecimento solar para suprir o funcionamento do ar condicionado.

O sistema tem função nas estações com temperaturas térmicas mais altas utilizando a água quente que foi superaquecida como troca de calor para que o funcionamento do ar condicionado ocorra sem a utilização de energia elétrica.

### 3.3.6 Custo Do Investimento Em Santana De Parnaíba

Considerando o dimensionamento feito pode-se calcular o custo da instalação do sistema de aquecimento solar à temperatura de 70°C e a utilização do sistema *chiller* para o resfriamento ambiente conforme a tabela abaixo.

Tabela 3.4 – Cálculo do custo à temperatura de 70°C + *Chiller* em Santana de Parnaíba

EQUIPAMENTO	CUSTO
8 x placas Mastersol	8 x R\$ 300,00 = R\$ 2.400,00
Boiler 800 litros Mastersol	R\$ 3.000,00
2 x <i>Chiller</i>	2 x 8.000,00 = R\$ 32.000,00
Mão de obra e Instalação	R\$ 1.000,00
TOTAL	R\$ 22.400,00

Estimando que a residência tem um gasto mensal de R\$ 500,00 e tomando em consideração as análises feitas anteriormente, a redução no gasto energético está entre 50 e 60% assim, a instalação do circuito com um total de R\$ 22.400,00 paga-se em torno de 90 meses. Os valores considerados são referentes ao mercado no ano de 2016.

### 3.3.7 Custo Do Investimento No Porto

Considerando o dimensionamento feito pode-se calcular o custo da instalação do sistema de aquecimento solar à temperatura de 70°C e a utilização do sistema *chiller* para o resfriamento ambiente conforme a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Cálculo do custo à temp. 70°C + *Chiller* no Porto

EQUIPAMENTO	CUSTO
8 x placas Mastersol	8 x 250,00 = 2.000,00€
Boiler 800 litros Mastersol	1.000,00€
2 x <i>Chiller</i>	2 x 3.000,00 = 6.000,00€
Mão de obra e Instalação	1.000,00€
TOTAL	10.000,00€

Estimando que a residência tem um gasto mensal de 100,00 € e tomando em consideração as análises feitas anteriormente, a redução no gasto energético está entre 50 e 60% assim, a instalação do circuito com um total de 10.000,00 € e paga-se em torno de 200 meses. Os valores considerados são referentes ao mercado no ano de 2016.

### 3.4 DIMENSIONAMENTO (TEMP. A 40°C)

#### 3.4.1 Novo Método Estudado (40°C)

Para o dimensionamento de um sistema de aquecimento solar a 40 °C utiliza-se os componentes listados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6—Equipamentos para um sistema a 40 °C

Consumo 200 litros/hab/dia
Considera-se banho 50% = 100 litros hab/dia
100 litros = água quente (40°C)
Habitação com 5 pessoas = 500 litros água quente x 2 dias
Portanto boiler de 1000 litros é suficiente

#### 3.4.2 Coletor

Considerando uma edificação unifamiliar com 5 moradores foi dimensionado o número de placas para as duas residências através do Guia de Parametrização apresentado no apêndice B.

Foi escolhida a placa da MastersolCRC 1830 com área de 1,64 m<sup>2</sup> e rendimento de 76,0kWh/mês.m<sup>2</sup> e obteve-se um mínimo de 5 placas e o ideal de 8 placas para que seja atendido o consumo calculado de 1075 litros diários. Cada placa cheia pesa cerca de 25 Kg.

#### 3.4.3 Posicionamento

O coletor deve ser colocado perpendicular à altura solar média do inverno ao meio dia, ou seja, a latitude do local + 15° sendo uma boa estimativa para o aquecimento da água com foco no período do inverno.

A latitude de Santana de Parnaíba é aproximadamente 23°, portanto o coletor deve estar posicionado aproximadamente a 38° voltado ao norte conforme representação no Desenho 10 e a latitude do Porto

é aproximadamente 41°, portanto o coletor deve estar posicionado aproximadamente a 55° voltado ao sul conforme demonstrado no dimensionamento anterior.

#### 3.4.4 Boiler/Caldeira

O boiler deve ser dimensionado para atingir uma temperatura de 40°C e atender a demanda total de água de banho para a residência.

Para que seja feito o cálculo do boiler utiliza-se o consumo total diário de 1075. Sendo assim, adota-se um boiler de 1500 litros da Mastersol modelo 13.14.1500 de inox com isolamento de lã de vidro de 920 mm de diâmetro por 2500 mm de comprimento.

#### 3.4.5 Custodo Investimento Em Santana De Parnaíba

Considerando o dimensionamento feito pode-se calcular o custo da instalação do sistema de aquecimento solar à temperatura de 40°C conforme a Tabela 3.7.

Tabela 3.7 –Cálculo do custo à temp. 40°C em Santana de Parnaíba

EQUIPAMENTO	CUSTO
6 x placas Mastersol	6 x R\$ 300,00 = R\$ 1.800,00
Boiler 1500 litros Mastersol	R\$ 4.000,00
Mão de obra e Instalação	R\$ 1.000,00
TOTAL	R\$ 6.800,00

Estimando que a residência tem um gasto mensal de R\$ 500,00 e tomando em consideração as análises feitas anteriormente, a redução no gasto energético está entre 20 e 40% assim, a instalação do circuito com um total de R\$ 6.800,00 paga-se em torno de 40 meses. Os valores considerados são referentes ao mercado no ano de 2016.

#### 3.4.6 Custo Do Investimento No Porto

Considerando o dimensionamento feito pode-se calcular o custo da instalação do sistema de aquecimento solar à temperatura de 40°C conforme a Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Cálculo do custo à temp. 40°C no Porto

EQUIPAMENTO	CUSTO
6 x placas Mastersol	6 x 250,00 = 1.500,00€
Boiler 1500 litros Mastersol	1.500,00€
Mão de obra e Instalação	1.000,00€
TOTAL	4.000,00€

Estimando que a residência tem um gasto mensal de 100,00 € e tomando em consideração as análises feitas anteriormente, a redução no gasto energético está entre 20 e 40% assim, a instalação do circuito com um total de 4.000,00 € e paga-se em torno de 130 meses. Os valores considerados são referentes ao mercado no ano de 2016.

## 4 RESULTADO/DISCUSSÃO

Feita a pesquisa embasada no nível de radiação solar que atinge o Brasil e Portugal, levando em conta a latitude e longitude das localidades em questão juntamente com o a altitude geográfica e a temperatura durante todo o ano em ambos países, foi feito um estudo de caso nas duas cidades, uma de cada país, sendo no Brasil a cidade de Santana de Parnaíba em São Paulo e em Portugal a cidade do Porto.

Apesar dos inumeros fatores que diferenciam as características das cidades, foram feitos dois casos de estudo em ambas casas de cada cidade. O primeiro um aquecimento de água à temperatura de 70°C unido a utilização de um o sistema *chiller* para o resfriamento ambiente e o segundo um sistema de aquecimento à temperatura de 40°C levando em consideração que a utilização da água acima da temperatura de 40°C é praticamente nula. Foi sugerido esta alternativa para o fim da temperatura excessiva que foi direcionada ao sistema de refrigeração, vendo então a viabilidade de uma possível economia para a casa mesmo com um reservatório maior.

Por fim, tanto em Portugal como no Brasil, a analise mostrou que o uso de energia solar para aquecer a temperatura da água em até 40°C é viavel porém, em um aquecimento mais potente, como o de 70°C, o sistema em questão não se torna interessante, pelo equipamento *chiller* ser mais caro e pouco utilizado, tornando o retorno do investimento intangível e consequentemente inviável, visto que este retorno levaria anos após o uso, não valendo a pena em relação aos custos de manutenção e a própria vida útil do equipamento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONCLUSÕES

A radiação solar no Brasil é muito alta em relação a Portugal assim, a utilização do sistema de aquecimento solar torna-se mais viável economicamente, pois tem um retorno do investimento mais rápido.

Apesar das temperaturas se equipararem, um sistema de aquecimento auxiliar para os dias nublados ou chuvosos terá uma utilização mais alta na cidade do Porto, onde a chuva e a temperatura baixa prevalecem no inverno.

O cidadão português tem um consumo de água mais baixo do que o brasileiro influenciando diretamente no retorno do investimento.

Os sistemas dimensionados e seus equipamentos projetados são equivalentes para residências com 4 moradores nas duas cidades apesar das diferenças de hábitos de consumo. Os preços são praticamente equivalentes o que torna o investimento em Portugal um pouco menos viável pela diferença no valor da moeda.

Para tanto, verificou-se a viabilidade das instalações de um sistema de aquecimento solar térmico nas duas edificações com um retorno do investimento superior para a residência do Brasil, porém o aquecedor dimensionado junto com o sistema de refrigeração tornou-se inviável em ambos casos.

### 5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Como sugestão de trabalhos futuros pode-se dimensionar o sistema de aquecimento solar interligado com o sistema de refrigeração ambiente *Chiller* para edificações de grande porte, hotéis e locais que tenham um consumo de energia elétrica alto para que seja viabilizado economicamente.

Outra sugestão é o dimensionamento de um sistema de refrigeração ambiente *Chiller* de baixo custo e de menor porte para que seja adaptável à residências unifamiliares e edificações de pequeno porte cujo consumo mensal é baixo.







## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTISTA, Alessandra Sleman Cardoso. **Análise da viabilidade econômica da utilização de aquecedores solares de água em resorts no nordeste do brasil.** 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/asleman.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2016.
- CASTRO, Barbara; PEREZ, Gustavo; DUARTE, Nuno. **Projeto de sistemas de energia solar térmica.** 2012. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2012.
- CERVEIRA, Manuel. **Sistemas térmicos de energia solar.** 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2012.
- COSTA, Raimundo Nonato Almeida. **Viabilidades térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água a baixo custo para fins residenciais.** 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15527>>. Acesso em: 17 mai. 2016.
- FIAL, António Alberto Pires. **Metodologia para análise energética em edifícios de serviços.** 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2011.
- GHISI, Eneidir; ABREU, Ana Lígia Papst de; CARLO, Joyce C. **Desempenho térmico de edificações.** 2005. 42 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/126545/>>. Acesso em: 12 mar. 2016.
- KRAUSE, Cláudia Barroso. **Conforto ambiental e eficiência energética.** 2005. 15 f. Monografia (Especialização) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15527>>. Acesso em: 17 mai. 2016.
- LARA, Alexandre; FACHIN, Cassiano. **Sistema de aquecimento e posicionamento de painel solar.** 2013. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4163>>. Acesso em: 18 mai. 2016.
- MENDONÇA, BernadetteVechia de. **Estudo da problemática da aplicação de coletores solares para aquecimento de água, no segmento residencial de alto padrão, com base em escalas de projeto arquitetônico e dimensões de planejamento.** 2009. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/03072009](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/03072009)>. Acesso em: 20 mar. 2016.

MEXA, Nuno Filipe dos Santos. **Sistemas solares térmicos - simulação de perfis de consumo e cálculo do comportamento térmico a longo prazo**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia e do Ambiente, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2011.

MIRANDA, Marco Antônio Cunha. **Optimização de sistemas solares térmicos**. 2008. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

MORAES SANTOS, Eliana Cristina. **Viabilidade técnica e econômica do uso da energia solar térmica em condomínios horizontais com habitações populares**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/124395>>. Acesso em: 17 mai. 2016.

PUTERMAN, Paulo Marcos. **Renovável e armazenada: possível contribuição da energia solar para a manutenção da sustentabilidade e segurança da matriz energética brasileira**. 2013. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biotecnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/87/87131](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/87/87131)>. Acesso em: 03 abr. 2016.

QUEIRÓ, Pedro Pizarro Beleza Rodrigues. **Sistema solar térmico activo para melhoria do conforto habitacional**. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Física Tecnológica, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

RODRIGUES, Maria da Conceição Brito Pinto. **Eficiência energética no setor residencial**. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.

SANTOS, Alexandre Daniel Sousa. **Avaliação de sistemas solares térmicos de produção de água quente sanitária em edifícios de habitação multifamiliar**. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

SILVA, Micael Alexandre Caetano da. **Factores de sustentabilidade em energias renováveis**. 2012. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2012.

SIQUEIRA, Débora Abrahão. **Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo**. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009. Disponível em: <<http://penelope.dr.ufu.br/handle/123456789/566>>. Acesso em: 17 mai. 2016.

SOWMY, Daniel Setrak. **Aquecimento solar de água: metodologia de avaliação da incerteza na medição do desempenho térmico de coletores solares planos utilizando simulador artificial de radiação solar**. 2013. 168 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-11072014-112829/pt-br.php> >. Acesso em: 20 mar. 2016.

Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo, 2016. Disponível em: < <http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/Sizing%20tool%20Sao%20Paulo.pdf> > Acesso em 15 abr. 2016

Altener, Manual Solar Térmico, 2004

Norma Europeia : EN 12976-1 2006

Norma Europeia : EN 12975-1 2006





## APÊNDICE A

Tabela 5.1 – Cálculo do número de placas para temperatura a 70°C

## Fatores de cálculo

## Legenda de Referência

Fator de cálculo	
Aplicado a cada situação	
Parâmetro pré-definido	
Resultado intermediário	

## Consumo diário por habitante (litros a 70°C)

Vazão do chuveiro (l/min)	10
Tempo do banho (min)	20
Lavatório (l/usuário)	5
Cozinha (l/usuário)	10
Consumo por usuário (litros)	115

## Habitantes por unidade (n° quartos + 1 ≤ 5)

1 quarto por unidade	2
2 quartos por unidade	3
3 quartos por unidade	4
4 quartos ou mais por unidade	5

## Fator de ocupação

Até 9 unidades habitacionais	1
De 10 a 19 unidades habitacionais	0,9
De 20 a 39 unidades habitacionais	0,8
40 ou mais unidades habitacionais	0,7

## Fator de orientação

Desvio do norte geográfico de 0° a 30°	1
Desvio do norte geográfico de 31° a 60°	1,13
Desvio do norte geográfico de 61° a 90°	1,16

## Cálculo de área de coletores solares em edificações residenciais

## Consumo por habitante (litros a 70°C)

Usuários por unidade habitacional	5
Litros por usuário (litros)	115
Consumo diário por unidade habitacional	575
Unidades habitacionais atendidas pelo sistema	1
Fator de Ocupação	1,00
Consumo diário de água (litros)	575
Temperatura de uso (°C)	70
Temperatura da água fria (°C)	20
Energia útil consumida (kWh/dia)	33
Perdas térmicas (% para estocagem a 45° conf. NB 15569)	15
Energia total consumida (kWh/dia)	38

## Produção média de energia necessária

Fator de orientação (conforme Dec. Regulamentação 49148)	1,13
Fator de correção de SP para o coletor (conf. lei SP 14.459)	1,54
Produção média diária de energia necessária (kWh/dia Nominal)	66,9
Produção média mensal de energia necessária (kWh/mês)	2.033
Fração Solar desejada (%)	40
Produção média de energia (kWh/mês nominal)	813

## Área de captação

Produção média de energia mensal do coletor (kWh/mês/m²) conf. Tabela do INMETRO	76,0
Área do coletor (m²) conf. Tabela do INMETRO	1,64
Número mínimo de coletores (para atendimento à fração solar de 40% exigida na Lei 14.459)	7
Número ideal de coletores (para atendimento à fração solar ideal de 70%)	12
Área mínima de coletores (para atendimento a fração solar desejada) (m²)	11,0
Área ideal de coletores necessária (m²)	18,9
Fator de aproveitamento do espaço (no caso de coberturas)	1,60
Área mínima de cobertura plana a ser disponibilizada para a instalação (m²)	17,6
Área ideal de cobertura plana a ser disponibilizada para a instalação (m²)	30,2

## APÊNDICE B

Tabela 5.2 Cálculo do número de placas para temperatura a 40°C



Fatores de cálculo		Cálculo de área de coletores solares em edificações residenciais	
Legenda de Referencia		Consumo por habitante (litros a 40°C)	
Fator de cálculo		Usuários por unidade habitacional	5
Aplicado a cada situação		Litros por usuário (litros)	215
Parâmetro pré-definido		Consumo diário por unidade habitacional	1075
Resultado intermediário		Unidades habitacionais atendidas pelo sistema	1
Consumo diário por habitante (litros a 40°C)		Fator de Ocupação	1,00
Vazão do chuveiro (l/min)	10	Consumo diário de água (litros)	1.075
Tempo do banho (min)	20	Temperatura de uso (°C)	40
Lavatório (l/usuário)	5	Temperatura da água fria (°C)	20
Cozinha (l/usuário)	10	Energia útil consumida (kWh/dia)	25
Consumo por usuário (litros)	215	Perdas térmicas (% para estocagem a 45° conf. NB 15569)	15
Habitantes por unidade (nº quartos + 1 ≤ 5)		Energia total consumida (kWh/dia)	29
1 quarto por unidade	2	Produção média de energia necessária	
2 quartos por unidade	3	Fator de orientação (conforme Dec. Regulamentação 49148)	1,00
3 quartos por unidade	4	Fator de correção de SP para o coletor (conf. lei SP 14.459)	1,54
4 quartos ou mais por unidade	5	Produção média diária de energia necessária (kWh/dia Nominal)	44,2
Fator de ocupação		Produção média mensal de energia necessária (kWh/mês)	1.346
Até 9 unidades habitacionais	1	Fração Solar desejada (%)	40
De 10 a 19 unidades habitacionais	0,9	Produção média de energia (kWh/mês nominal)	538
De 20 a 39 unidades habitacionais	0,8	Área de captação	
40 ou mais unidades habitacionais	0,7	Produção média de energia mensal do coletor (kWh/mês/m²) conf. Tabela do INMETR	76,0
Fator de orientação		Área do coletor (m²) conf. Tabela do INMETRO	1,64
Desvio do norte geográfico de 0° a 30°	1	Número mínimo de coletores (para atendimento à fração solar de 40% exigida na Lei	5
Desvio do norte geográfico de 31° a 60°	1,13	Número ideal de coletores (para atendimento à fração solar ideal de 70%)	8
Desvio do norte geográfico de 61° a 90°	1,16	Área mínima de coletores (para atendimento a fração solar desejada) (m²)	8,0
		Área ideal de coletores necessária (m²)	12,6
		Fator de aproveitamento do espaço (no caso de coberturas)	1,60
		Área mínima de cobertura plana a ser disponibilizada para a instalação (m²)	12,8
		Área ideal de cobertura plana a ser disponibilizada para a instalação (m²)	20,2

